

Augusto José dos Santos Fitas

(Professor Associado com Agregação da Universidade de Évora)

# História e Filosofia da Ciência (colectânea de textos)

*(Textos para uso dos estudantes do  
Doutoramento em História e Filosofia da  
Ciência, da disciplina de História e Filosofia da  
Ciência do mestrado em Química, da História  
das Ideias em Física das Licenciaturas em Física  
e em Ensino de Física e Química da  
Universidade de Évora)*

UNIVERSIDADE DE ÉVORA

2014

## Conteúdo

1. A História da “história das ciências” – percursos, ideias, actores, querelas<sup>1</sup>
2. A Ciência e a Filosofia da Ciência na transição para o século XX<sup>2</sup>
3. Uma Controvérsia na História da Física<sup>3</sup>
4. A Ciência em Portugal no século XX: a Física no período entre guerras<sup>4</sup>
5. Os *Principia* de Newton<sup>5</sup>
6. O Princípio da Menor Acção: uma resenha histórica breve e incompleta<sup>6</sup>
7. Notas em Construção: Os Gregos
8. Notas em Construção: - Notas sobre a Vida e Obra de Galileu

---

<sup>1</sup> Versão maior de um texto já publicada: Fitas, A.J.Santos (2009). História das Ciências: das Muitas memórias à necessidade da história. In II Jornadas de memória Militar – Os militares a ciência e as artes. Lisboa: Academia Internacional da Cultura Portuguesa. 17-39.

<sup>2</sup> Fitas, A.J., Marcial. E. Rodrigues, M. Fátima Nunes, 2008, *Filosofia e História da Ciência em Portugal no século XX*, Lisboa, Caleidoscópio (Capítulo 1).

<sup>3</sup> Fitas, Augusto J. Santos (1993). Uma Controvérsia na História da Física, *VÉRTICE*, 56: 49-71.

<sup>4</sup> Fitas, Augusto J. S., e António A. P. Videira (org.), 2004, *Cartas entre Guido Beck e Cientistas Portugueses*, Lisboa, Instituto Piaget (Capítulos 3 e 4)

<sup>5</sup> Parte deste texto baseia-se em dois artigos já publicados: Fitas, Augusto J. Santos, 1996, *Os Princípios de Newton, alguns comentários (Primeira parte, a Axiomática)*, *Vértice*, 72, 61-68; Fitas, Augusto J. Santos, 1996, *Os Princípios de Newton, alguns comentários (Segunda parte, a Gravitação)*, *Vértice*, 73, 97-102

<sup>6</sup> Este texto corresponde a um resumo do livro publicado posteriormente: Fitas, Augusto J. Santos (2012), *1996 O Princípio da Menor Acção: uma história de Fermat a Lagrange*. Lisboa: Caleidoscópio.

## **A História da “história das ciências” – percursos, ideias, actores, querelas...<sup>7</sup>**

Foi só nos finais do século XIX, ou nos inícios do século XX, que a História das Ciências se definiu como disciplina: delimitaram-se os seus conteúdos, entendeu-se a sua especificidade, iniciou-se a sua afirmação institucional quer através do ensino superior quer pelo aparecimento de revistas que lhe foram consagradas, quer, ainda, pela sua introdução como tema em secções dos congressos internacionais de ciências (de história?) e de filosofia. Foi já em pleno século XX, no período entre guerras, que a disciplina de História das Ciências se institucionalizou no seio da comunidade científica internacional (cientistas, historiadores e filósofos) através dos seus Congressos Internacionais de História das Ciências de onde emergiram algumas figuras determinantes na afirmação desta área do conhecimento. Foi também neste período que se lançaram as bases conceptuais que hão-de permitir o desenvolvimento teórico desta área do conhecimento no pós segunda guerra mundial, ultrapassando-se as muitas memórias para passar a desenhar a sua própria história.

No sentido de melhor explicitar o conteúdo do que a seguir se expõe, socorremo-nos de uma citação:

«[A História] tanto pode significar a «realidade vivida» num tempo e num espaço próprios, como o conhecimento dessa «realidade» ou das suas representações (...) por sua vez, o «conhecimento histórico» pode ter também vários significados ou graus, isto é, pode ser entendido como «conhecimento científico» (se aceitarmos que a história é uma ciência), resultante do trabalho de pesquisa do historiador para o narrar, interpretar (ou simplesmente compreender) e apresentar, geralmente de forma escrita (...) e pode ainda ter a forma de conhecimento, a que chamaremos «memória», que existe (embora nem sempre, dado que se verifica também a «ignorância histórica», que é afinal uma forma de memória ou de «não-memória») em cada indivíduo, em cada grupo social, em cada grau etário...»<sup>8</sup>.

Está dada assim a chave para se entender a diferença de acepções atribuídas a estes dois vocábulos, história e memória, muitas vezes tomados como sinónimos, mas aqui momentaneamente separados, acima de tudo, pelo esforço do «conhecimento» ou pela necessidade da interpretação e compreensão. Posto isto, talvez se possa dizer que tudo começou numa ampla colecção de memórias...

---

<sup>7</sup> NOTAS em construção do seminário de doutoramento em HFC e do qual se publicou uma versão mais curta: FITAS, A.J.Santos (2009). História das Ciências: das Muitas memórias à necessidade da história. In II Jornadas de memória Militar – Os militares a ciência e as artes. Lisboa: Academia Internacional da Cultura Portuguesa. 17-39.

<sup>8</sup> (TORGAL et al., 1998:14).

## 1. Dos primórdios até ao século XIX – das muitas memórias ao início da história

Já na Antiguidade Clássica surgiu um primeiro texto, compilando os conhecimentos em Matemática, escrito por Eudemo (350-290AC)<sup>9</sup>, trabalho que pode ser considerado como uma das primeiras obras em história das ciências. As obras dos filósofos da Antiguidade<sup>10</sup> e do período medieval preocupavam-se sempre em descrever uma determinada genealogia de conhecimentos, apresentando assim uma história das ideias do tema em causa, onde se incluíam amplas referências aos seus antecessores e se integravam extensos comentários sobre as teorias destes:

«Não conhecemos directamente as obras de numerosos sábios da Antiguidade, [mas apenas através dos escritos dos compiladores (...)] a sua [dos compiladores] actividade foi muito considerável desde a Antiguidade romana, a partir do século III DC (...) estes autores não faziam obra de historiadores mas de escritores didácticos, pois o conteúdo das suas obras era constituído por noções científicas ainda em curso. No entanto, foram os compiladores do período helenístico e, depois, os seus continuadores bizantinos, judeus, árabes, enfim da Idade Média Ocidental, que conservaram e transmitiram as primeiras noções históricas sobre a ciência da Antiguidade»<sup>11</sup>.

A título de exemplo, nunca é demais relembrar que é na Física de Aristóteles que se descrevem os paradoxos de Zenão... não em qualquer obra ou fragmento escrito pelo próprio<sup>12</sup>.

A grande figura de Francis Bacon (1561-1626) afirmava que «a verdade é filha do tempo», assumindo aqui a importância do valor da história no desenvolvimento do conhecimento. Na sua obra *Of the Proficiency and Advancement of Learning, Divine and Human* escreveu,

«posso afirmar, com toda a verdade, que temos necessidade de uma história exacta do saber, contendo a antiguidade e a origem das ciências (...)»<sup>13</sup>.

Para Bacon, este conhecimento do passado de cada uma das ciências era um instrumento pedagógico fundamental para conseguir a aprendizagem científica e passava obrigatoriamente pela compreensão da experiência adquirida pelas gerações anteriores.

---

<sup>9</sup> Matemático grego nascido em Rodes, do qual se conhecem três obras sobre história da matemática: *História da Aritmética*, *História da Geometria* (geometria pré-euclidea) e *História da Astronomia*.

<sup>10</sup> Os historiadores que, de uma forma sistemática, se aplicaram a recolher e classificar, ordenadamente, as opiniões dos filósofos antigos, são os *doxógrafos*.

<sup>11</sup> (DAUMAS, 1966: 13).

<sup>12</sup> Também aparece referido no célebre diálogo de Platão, *Parménides*.

<sup>13</sup> *In* (GUSDORF, 1988: 48).

Ao surgir a ciência moderna, sobretudo no seio das novas instituições que eram as Academias (os novos centros de discussão e difusão dos conhecimentos em alternativa às velhas universidades medievais), estas instituições trataram logo de cuidar da sua própria memória, velando ciosamente pelo relato oficial das suas crónicas. As academias zelavam para que a personagem de cada sábio conservasse o seu lugar na memória colectiva dos eruditos, passando a responsabilizar-se pela prosopografia referente aos seus membros.

A Royal Society of London, criada em 1660, assistiu, uma escassa meia dúzia de anos depois, em 1667, a que um dos seus fundadores, o futuro bispo de Rochester, Thomas Sprat (1635-1713), publicasse a sua história *The Royal Society of London for improving natural knowledge*, da qual aparece a tradução francesa em Genebra dois anos mais tarde, em 1669. A Academia Real das Ciências de Paris, que aparecerá seis anos após a sua congénere inglesa, também não vai demorar muito a ter a sua história. Fontenelle (1657-1747), a partir de 1699, foi o seu secretário vitalício, passou, nesta qualidade, a ocupar-se, sobretudo e também, da história da instituição. Se, por um lado, foi o animador da grande publicação, principiada em 1720, *Histoire de l'Académie Royale des Sciences*, por outro, preocupou-se em reunir os trabalhos da Academia e preservar a memória dos seus membros desaparecidos, franceses e estrangeiros. Sobre estes relatos, os célebres *Éloges des Savants*, alguns autores consideram-nas

«autênticas obras-primas neste novo género de oração fúnebre laica (...) entre outros, por exemplo, o elogio de Newton, não é apenas o primeiro monumento de influência newtoniana em França; é também um dos principais ensaios de biografia intelectual e o valor deste texto impôs-se de tal modo aos ingleses que eles próprios se apressaram a traduzi-lo na sua língua»<sup>14</sup>.

A tradição dos elogios nunca foi interrompida na Academia Francesa, todos os secretários cumpriram este dever em relação aos membros desaparecidos, todavia, apesar da qualidade literária destas peças, na sua maioria, não constituem um documento histórico objectivo, são um panegírico e representam muito mais uma pose para a posteridade do que uma análise cuidada e rigorosa do seu trabalho.

O mesmo Fontenelle, no seu *Éloge de Montmort*, o matemático Pierre Rémond, senhor de Montmort, desaparecido em 1716, escreveu:

«Trabalhava há algum tempo na história da geometria. Cada ciência, cada arte deve ter a sua história. É muito agradável, e este prazer encerra grandes ensinamentos, ver o percurso que o espírito humano tomou e, para falar matematicamente, essa espécie de progressão, cujos intervalos são, de início,

---

<sup>14</sup> (GUSDORF, 1988: 54).

extremamente grandes para, em seguida e naturalmente, se encurtarem cada vez mais (...)»<sup>15</sup>.

Enaltecia-se aqui importância do trabalho do «historiador», do compilador de memórias, que a morte impediu que concluísse o seu projecto. Um projecto que, mais tarde, será retomado e levado a bom termo por Jean-Étienne Montucla (1725-1799) com a *Histoire des Mathématiques*, cujo primeiro tomo apareceu em 1758. O exemplo de Montucla foi seguido por Alexandre Savérien (1720-1805) que, ao longo de vinte anos, de 1760 a 1780, escreveu sobre a história de todas as ciências e de todos os sábios, dos metafísicos aos químicos e «cosmologistas»<sup>16</sup>. Um outro académico francês, Jean Sylvain Bailly (1736-1793), elaborou a *Histoire de l'Astronomie Ancienne* que apareceu a público em 1775 e foi reeditada em 1781 para, no ano seguinte, em 1782, ser completada com a *Histoire de l'Astronomie Moderne*. Destas, a primeira «história» percorre um período que termina com o estabelecimento da escola de Alexandria, enquanto que a segunda, iniciando-se aí, termina em 1780.

Muitas obras científicas escritas no século XVIII, abordando novos e velhos temas, são, por vezes, acompanhadas de interessantes introduções de carácter histórico ou, em outras situações, optam claramente pela exposição histórico-cronológica da disciplina em causa. O primeiro caso pode ser ilustrado pela *Mécanique Analytique* de Joseph Louis Lagrange (1736-1813) que, nesta obra seminal para a mecânica racional, apresenta duas introduções históricas relativamente desenvolvidas, uma sobre a estática e outra dedicada à dinâmica. É uma exposição sobre a marcha temporal das grandes questões enfrentadas por esta disciplina, traduzindo o ponto de vista do seu autor, no que diz respeito ao papel desempenhado por outros autores em outras épocas, e, sobretudo, justificando aquilo que o próprio Lagrange se propõe apresentar como novidade. O segundo caso pode ser ilustrado pelos trabalhos, na Inglaterra do século XVIII, de John Priestley (1733-1804), o químico cujos trabalhos terão contribuído para o isolamento do oxigénio, que, ao debruçar-se em 1767, sob influência dos trabalhos de Franklin, sobre a electricidade e, uns anos depois, sobre a óptica, opta pela exposição histórica destes conhecimentos para falar da ciência do seu tempo, publicando *The History and Present state of electricity* e cinco anos depois, em 1772,

---

<sup>15</sup> «Il travaillait depuis un temps à l'histoire de la géométrie. Chaque science, chaque art devrait avoir la sienne. Il est très agréable, et ce plaisir renferme beaucoup d'instruction, de voir la route que l'esprit humain a tenue et, pour parler géométriquement, cette espèce de progression, dont les intervalles sont d'abord extrêmement grands, et vont ensuite naturellement en se serrant toujours de plus en plus (...)» In (GUSDORF, 1988: 58).

<sup>16</sup> (DAUMAS, 1966: 15).

*The History and Present state of Discoveries Relating to Vision, Light and Colours*. Também aqui se enaltecem uns e se encobrem outros.

Um domínio onde a história desempenhou também, desde os fins do século XVIII, um papel considerável foi a medicina. A história da medicina foi objecto de numerosas publicações, pois a reflexão médica apoiava-se constantemente no exame crítico das doutrinas feitas pelos antecessores. Referimos aqui as obras de dois médicos ilustres: Theophile de Bordeu (1722-1776), o inspirador da Escola de Montpellier, que publicou em 1768 as *Recherches sur l'histoire de la Médecine*; Pierre Cabanis (1757-1808) que redigiu a partir de 1795 o seu *Coup d'oeil sur les révolutions et sur la reforme de la Médecine*, publicado em 1804.

Uma obra emblemática do iluminismo foi a *Encyclopedie ou Dictionnaire Raisonné des Sciences, Arts et Métiers*, uma publicação de vinte e oito volumes (dezassete de texto e onze de gravuras) onde aparecem 71800 artigos, editada entre 1751 a 1772, cujos directores foram Denis Diderot (1713-84) e Jean Le Rond D'Alembert (1717-83). Também nela se realçava o papel de uma «história geral e organizada das ciências e das artes»; D'Alembert, na introdução a esta obra, escrevia:

«Cita-se os factos, compara-se experiências, imagina-se métodos só para ter o prazer de descobrir percursos ignorados, e para avançar com novas descobertas, tomando como primeiro passo aquele onde os grandes homens terminaram o seu trajecto. Também é o objectivo que nos propusemos, combinar os princípios das Ciências e das Artes Liberais com a história da sua origem e do seu progresso; e se conseguirmos estes propósitos, os espíritos interessados não perderão mais tempo em procurar o que já se sabia antes deles»<sup>17</sup>.

E, para reforçar o pensamento de D'Alembert na necessidade da afirmação de uma história geral das ciências, recorre-se, mais uma vez, a Georges Gusdorf:

«d'Alembert esboça o programa de uma «*historia geral e fundamentada das ciências e das artes*», que, segundo ele, «*encerra quatro grande objectivos: os nossos conhecimentos, as nossas opiniões, as nossas discussões e os nossos erros*». Dito de outro modo, não se trata de recapitular os resultados encontrados na procura da verdade, mas anotar também os desvios e preversões, quer dizer que a história das ciências alargou-se ao ponto de se tornar uma história das ideias. O mau uso da razão é tão instrutivo como o bom»<sup>18</sup>.

---

<sup>17</sup> «On ne cite des faits, on ne compare des expériences, on n'imagine des méthodes, que pour exciter le génie à s'ouvrir des routes ignorées, & à s'avancer à des découvertes nouvelles, en regardant comme le premier pas celui où les grands hommes ont terminé leur course. C'est aussi le but que nous nous sommes proposé, en alliant aux principes des Sciences & des Arts libéraux l'histoire de leur origine & de leurs progrès successifs; & si nous l'avons atteint, de bons esprits ne s'occuperont plus à chercher ce qu'on savait avant eux.» (D'ALEMBERT, 1894: 139).

<sup>18</sup> «d'Alembert esquisse le programme d'une «*histoire générale et raisonnée des sciences et des arts*», laquelle, selon lui, «*renferme quatre grands objets: nos connaissances, nos opinions, nos disputes et nos erreurs*». Autrement dit, il ne s'agit seulement de récapituler les résultats acquis dans la recherche de la vérité, mais de recenser aussi les

Uma história da ciência, entendida como a «crónica dos acontecimentos científicos», despojada de conjecturas interpretativas mas plena de conteúdo informativo, é talvez a versão privilegiada por muitos para apresentar diferentes temáticas do conhecimento da filosofia natural e suas aplicações. Há exposições históricas em quase todos os domínios técnico-científicos, da matemática à medicina, da astronomia à química. Em Goettingen, graças à acção da universidade, nasceu um projecto que foi organizado por um grupo de professores, sob o título geral de *História das Artes e das Ciências desde o seu renascimento até finais do século XVIII*, e que deu origem a um conjunto de publicações especializadas, como por exemplo a *História das Matemáticas* de Abraham Kastner (1719-1800), publicada em quatro volumes (1796-1800). Nesta publicação estão englobadas áreas como a mecânica, a astronomia e uma parte da física. Também, integrada no mesmo projecto, o químico Johann Friedrich Gmelin (1748-1804) publicou em três volumes, entre 1797 e 1799, uma *História da Química desde o seu renascimento até finais do século XVIII*. Estas obras são, ainda hoje, utilizadas como referências fundamentais da memória histórica das diversas disciplinas.

A *Nova Atlântida* de Francis Bacon, publicada em 1627, expunha a utopia de uma terra prometida, aquilo que seria no futuro o mundo do conhecimento e das descobertas científicas feitas pelo homem. Todavia, é através da ideia de progresso ditada pelo optimismo da razão, tal como a conceberam os espíritos iluminados do século XVIII, que essa utopia se vislumbrava como possível de ser alcançada pela realidade dos novos avanços das ciências. É no texto de Condorcet (1743-1794), um dos homens mais influentes nos primeiros anos da França revolucionária, *Esquisse d'un tableau historique des Progrès de l'esprit humain*, publicado postumamente em 1795, que essa transição, entre a utopia sonhada e o progresso possível, aparece historicamente melhor exposto. É dele a frase:

«Os progressos das ciências asseguram os progressos da arte de instruir, e estes por seu turno aceleram em seguida o das ciências; e esta influência recíproca, cuja acção se renova constantemente, deve colocar-se no número das causas mais activas, mais poderosas da espécie humana»<sup>19</sup>.

É nesta mesma França revolucionária, em Março de 1802, que um decreto governamental encarrega o Instituto Nacional (entidade que, com a mudança política, substituiu a Academia Real) de elaborar «um quadro geral do estado e dos progressos das

---

déviation et préversion, c'est-à-dire que l'histoire des sciences est déjà élargie jusqu'à devenir une sorte d'histoire des idées. Le mauvais usage de la raison est aussi instructif que le bon » (GUSDORF, 1988: 64).

<sup>19</sup> (CONDORCET, 1946: 235).



ciências, das Letras e das artes, desde 1789 até ao primeiro ano X da Vendeia (1802)». O célebre naturalista Georges Cuvier (1769-1832), enquanto secretário perpétuo da secção de ciências, elaborou essa compilação com base nos relatórios anuais. A essa obra de quatro volumes foi atribuído em 1828 o título *Histoire des progrès des Sciences naturelles de 1789 jusqu'à nos jours*. Também em 1803 J. B. Biot (1774-1862) publicou uma curta *Histoire générale des sciences pendant la Révolution*. O mesmo Georges Cuvier deu, no Collège de France, um curso sobre a história da sua disciplina que viria a ser publicado postumamente em 1832 sob o título *Histoire des Sciences naturelles depuis leur origine jusqu'à nos jours chez tous les peuples connus* e que é composta por cinco tomos.

Foi, em 1837, que, segundo Georges Sarton, apareceu a primeira história moderna da Ciência, e onde pela primeira vez é introduzido o termo «cientista», a *History of the inductive Sciences*. O seu autor, William Whewell (1795-1866), apresenta a obra do seguinte modo:

«Já disse na introdução que o presente trabalho não é uma mera narrativa dos factos na história da ciência, mas uma base[entendido aqui como alicerces] para a Filosofia da Ciência. Parece-me que o nosso estudo sobre os modos de descobrir a verdade deve assentar num levantamento das verdades que, entretanto, já foram descobertas. Esta máxima parece suficientemente evidente; contudo, mesmo até ao presente, raramente tem sido entendida como tal»<sup>20</sup>.

Havia que compulsar e confrontar os vários processos de descoberta nas diferentes ciências, recorrendo-se, portanto, a conhecimentos sobre o seu passado e avançando com as consequentes interpretações. É esta nova atitude, interpretação e compreensão do passado, embora com propósitos filosóficos, que confere à narrativa, ao conjunto de memórias, a natureza de um conhecimento histórico. O mesmo autor, numa outra obra publicada posteriormente, exactamente sobre filosofia das ciências, explicitava ainda melhor a relação ente a história das ciências e a filosofia da ciência. Escrevia:

. «Os avanços que nos últimos três séculos foram feitos nos domínios das ciências físicas — na Astronomia, na Física, na Química, na História Natural, na Fisiologia — que todos concordam serem reais, grandiosos e surpreendentes; mesmo que não o fossem, é caso para perguntar se estes degraus no sentido do progresso não têm entre si qualquer coisa de comum? Existirá um processo comum em cada movimento deste avanço, um princípio comum qualquer? Terá o organismo, responsável por estas descobertas, qualquer coisa de uniforme na sua estrutura e

---

<sup>20</sup> «I have already said, in the Introduction, that the work aimed at being, not merely a narration of the facts in the history of Science, but a basis for the Philosophy of Science. It seemed to me that our study of the modes of discovering truth ought to be based upon a survey of the truths which have been discovered. This maxim, so stated, seems sufficiently self-evident ; yet it has, even up to the present time, been very rarely acted on» (WHEWELL, 1875: 8).

no seu trabalho? Se é assim e se nós pudermos, servindo-nos do passado histórico da ciência, descobrir esse elemento e processo comuns em todas as descobertas, chegaremos à Filosofia da Ciência, tal como actualmente se anseia [por essa razão] empreendi este levantamento da História da Ciência, apresentado noutra obra, e a análise do avanço de cada uma das ciências contida na presente obra»<sup>21</sup>.

O objectivo de Whewell apontava sobretudo para a compreensão filosófica do desenvolvimento das ciências, entendendo a história das ciências como um instrumento fundamental e imprescindível para o atingir.

Em França, contemporâneo de Whewell, surgiu Auguste Comte (1798-1857) que, sobre estas matérias, navegava em propósitos idênticos aos do seu colega além Mancha, isto é, a história das ciências não era um fim em si mesmo, mas um instrumento que permitia aceder à compreensão de que

«(...) o que mais influenciou o progresso geral [do espírito humano] foi o desenvolvimento contínuo do espírito científico, a partir dos trabalhos primitivos de Tales e Pitágoras até aos de Lagrange e Bichat»<sup>22</sup>.

E, no seu Curso de Filosofia Positivista, logo na sua segunda lição, Comte justificava a importância instrumental da História das Ciências:

«Toda a ciência pode ser exposta segundo dois caminhos essencialmente distintos (...) o percurso *histórico* e o percurso *dogmático* (...) o primeiro é evidentemente aquele pelo qual começa, necessariamente, o estudo de cada ciência nascente, porque apresenta essa propriedade, de não exigir, para a exposição dos conhecimentos nenhum trabalho novo distinto daquele da sua formação, toda a didáctica se reduz então a estudar sucessivamente, por ordem cronológica, as diversas obras originais que contribuíram para o progresso das ciências»<sup>23</sup>

Para Auguste Comte a necessidade de afirmação da história das ciências vai de par com a necessidade desta disciplina ser um auxiliar natural da ideologia positivista, isto é, a

---

<sup>21</sup>«The advances which have, during the last three centuries, been made in the physical sciences; — in Astronomy, in Physics, in Chemistry, in Natural History, in Physiology; — these are allowed by all to be real, to be great, to be striking: may it not be, then, that these steps of progress have in them something alike? — that in each advancing movement there is some common process, some common principle? — that the organ by which discoveries have been made has had something uniform in the structure and working? If this be so, and if we can, by attending to the past history of science, discover something of this common element and common process in all discoveries, we shall have a Philosophy of Science, such as our times may naturally hope for (...) I undertook that survey of the History of Science which I have given in another work; and that analysis of the advance of each science which the present work contains» (WHEWELL, 1847: vi).

<sup>22</sup>«celle qui a le plus influé sur la progression générale, consiste sans doute dans le développement continu de l'esprit scientifique, à partir des travaux primitifs des Thales et des Pythagore, jusqu'à ceux de Lagrange et des Bichat» (COMTE, 1839: IV, 372).

<sup>23</sup>«Toute science peut être exposée suivant deux marches essentiellement distinctes (...) la marche *historique* et la marche *dogmatique* (...) le premier mode est celui par lequel commence, de toute nécessité, l'étude de chaque science naissante; car, il présente cette propriété, de n'exiger, pour les expositions des connaissances, aucun nouvel travail distinct de celui de leur formation, toute la didactique se réduisant alors à étudier successivement, dans l'ordre chronologique, les divers ouvrages originaux qui ont contribué aux progrès de la science» (COMTE, 1830: I, 77).

história das ciências deveria atestar o progresso inexorável (contínuo e cumulativo) do pensamento humano — da idade teológica, passando pela idade metafísica até à idade positiva — deveria confirmar a lei dos três estados. Para o criador do positivismo, a história da Ciência mostrava essa marcha contínua do conhecimento no sentido do progresso. Comte nunca foi um historiador da ciência, mas, pelo papel importante que atribuiu à história das ciências, é reconhecido como um dos seus grandes impulsionadores, sobretudo pelo esforço em institucionalizar o seu ensino nos anfiteatros académicos de Paris. Ficou a dever-se-lhe o combate tenaz pela criação da cadeira de História Geral das Ciências no Collège de France, o que só virá a acontecer em 1892<sup>24</sup>, trinta e cinco anos após a sua morte...

Chegados aqui, ao marco temporal que, com Whewell e Comte, assinala o início da História das Ciências, convém sublinhar uma constatação que marcou de uma forma indelével os passos iniciais desta disciplina e, até certo ponto, marcará toda a sua marcha histórica posterior: A História das Ciências surgiu como um instrumento para o entendimento do edifício científico, o seu nascimento vai ser justificado pela filosofia das ciências, por enquanto uma filosofia da ciência ancorada no positivismo e não problematizadora dos fundamentos da construção científica. Esta relação acentuar-se-á e alargar-se-á nos períodos seguintes.

## **2. A história interna das ciências e a história geral das ciências (do final do século XIX aos primórdios do séc. XX)**

É na segunda metade do século XIX que à ciência, perante o seu desenvolvimento, se porão alguns problemas que a obrigarão a reflectir sobre os seus fundamentos. Simultaneamente com os novos avanços, surgem novos desafios: na Física, constata-se o choque entre a concepção mecanicista e a nova síntese alcançada pela teoria electromagnética de Maxwell; nas matemáticas, o enunciado das novas geometrias atingiu os fundamentos da construção axiomática; na Biologia, a teoria da evolução das espécies abriu uma polémica feroz que se propagou rapidamente do domínio científico para o religioso e o social. A capacidade da ciência chegar à verdade tornou-se objecto de um importante debate. A pesquisa científica, enquanto processo de atingir a verdade objectiva, ocupa um lugar privilegiado nas conjecturas filosóficas na medida em que atingir a «verdade» é um valor fundamental do conhecimento humano. O modo particular de pensar

---

<sup>24</sup> Cujas primeiras aulas são dadas pelo seu discípulo, Pierre Laffitte (1825-1903). Esta disciplina foi precedida pela criação em 1864 da «Histoire des Sciences Médicales».

e agir em ciência, o acumular de resultados, os métodos empregues e a organização institucional dos cientistas representam um acervo de materiais importantíssimo numa pesquisa histórica especializada. E esta história especializada assume, nestes tempos novos, uma importância crescente – é uma história das ciências que se encontra fortemente comprometida nos debates filosófico-científicos. Uma história das ciências que vai ultrapassar as fronteiras correspondentes à sua utilização sob a égide do positivismo, isto é, a certificação do efeito cumulativo do conhecimento científico, ou o atestado do «progresso do espírito humano», tão caro a Whewell e Comte, para se constituir como um utensílio fundamental do entendimento de toda a problemática científica que se começa a revelar muito mais sinuosa do que parecia.

A história das ciências, instrumento imprescindível no entendimento da racionalidade científica, exige da parte dos seus praticantes conhecimentos específicos e aprofundados das diferentes matérias científicas, escopo ignorado pela larga maioria, senão pela totalidade, dos historiadores propriamente ditos. Vão ser alguns homens de ciência que, possuidores de uma ampla formação humanista além dos seus conhecimentos específicos, irão encetar os trabalhos desta história da ciência com o objectivo claro de procurar a compreensão epistemológica da construção científica.

É o nascimento daquilo que se pode classificar como uma «história interna das ciências», tão preocupada com a compreensão da «edificação científica» como com a elaboração da «crónica científica» e que, simultaneamente, questionava a própria genealogia oficial dos acontecimentos. Esta prática da história da ciência, futuramente consagrada pela designação de «internalista», assenta em dois pilares: o primeiro, a atenção específica aos factores cognitivos próprios do conhecimento científico (os factores internos intrínsecos à peculiaridade da racionalidade metodológica das ciências da natureza); segundo, nos factores internos da contextualização da empresa científica que passavam essencialmente pelo estudo da organização da investigação, da institucionalização desta e da comunidade científica em particular. Uma história da ciência com preocupações exegeticas e hermenêuticas que inicia uma revisão sistemática à sua ancestralidade, uma decifração metódica dos velhos textos. Foi no final do século XIX que surgiram três personagens que materializam as preocupações emergentes neste novo percurso: duas delas destacam-se pela sua investigação histórica que é acompanhada de uma profunda reflexão filosófica, sobretudo da construção da Física que lhes era contemporânea, Ernst Mach<sup>25</sup> (1838-1916)

---

<sup>25</sup> Foi professor de Física em Graz e Praga e, mais tarde, de Filosofia em Viena.

e Pierre Duhem<sup>26</sup> (1861-1916); uma terceira, evidenciando-se pela erudição no comentário exegético dos textos clássicos, que foi Paul Tannery<sup>27</sup> (1843-1904).

Mach foi um dos primeiros físicos a sustentar os seus pontos de vista filosóficos em relação à Física em estudos assentes na evolução histórica dos seus conceitos. Publicou, entre outras obras, o livro, *A Mecânica, Relato crítico e histórico do seu desenvolvimento*<sup>28</sup>, onde se propunha estudar o desenvolvimento histórico da Mecânica como meio para entender a sua evolução teórica, analisando os seus conceitos e passando consequentemente à crítica dos mesmos. O seu entendimento sobre a história da ciência é claramente apresentado numa passagem desta obra:

«Devemos reconhecer também que para a compreensão histórica da ciência, não só é necessário conhecer as ideias que foram aceites e cultivadas pelos professores subsequentes, como também os pensamentos rejeitados e transitórios dos investigadores que, aparentemente, poderão parecer como noções erradas, contudo são matérias que se revestem de grande importância e são deveras elucidativas (...) A investigação histórica não só promove a compreensão do que existe na actualidade, como também mostra novas perspectivas, revelando que o que existe é, em grande medida, *convencional e accidental*(...)»<sup>29</sup>.

O pensamento filosófico de Mach assenta em três pilares: o darwinismo científico, o princípio da economia de pensamento e a purga dos elementos metafísicos da Física. Mach possui uma noção «biológica» do conhecimento: o conhecimento é uma adaptação progressiva aos factos da experiência, uma adaptação imposta tal como as necessidades biológicas. Como ele próprio afirmou, «as ideias científicas transformam-se e adaptam-se do mesmo modo que Darwin assumiu para o caso dos organismos vivos»<sup>30</sup>; é neste sentido, enquanto generalização a todo o campo da ciência, que se deve entender a noção de darwinismo científico. O princípio da economia de pensamento corresponde à ideia seguinte: os conceitos científicos, as leis, as teorias devem ser entendidas como uma forma de economizar o trabalho intelectual de tal modo que a experiência adquirida fique

---

<sup>26</sup> Graduado em Ciências pela École Normale Supérieure, foi professor em Lille, Rennes e Bordéus.

<sup>27</sup> Engenheiro graduado na prestigiada École Polytechnique.

<sup>28</sup> Mach, Ernst (1883). *Die Mechanik in Ihrer Entwicklung Historisch-Kritisch Dargestellt*. Leipzig: F. A. Brockhaus. Em vida do autor esta obra foi editada sete vezes, em 1883, 1888, 1897, 1901, 1904, 1908 e 1912; a oitava e nona edições em língua alemã datam de 1921 e 1933. A primeira edição em língua inglesa data de 1893 e corresponde à edição por nós utilizada (Mach, 1974a). Não existe nenhuma edição em língua portuguesa.

<sup>29</sup> «We shall recognize also that not only a knowledge of the ideas that have been accepted and cultivated by subsequent teachers is necessary for the historical understanding of a science, but also that the rejected and transient thoughts of the inquirers may even apparently erroneous notions, may be very important and very instructive. (...) Historical investigations not only promotes the understanding of that which now is, but also brings new possibilities before us, by showing that which exists to be in great measure *conventional and accidental*. (...)» (MACH, 1974: 316).

<sup>30</sup> (Mach, 1974b: 350).

registada, podendo ser transmitida através de uma teoria formulada matematicamente. É este princípio geral que se constitui como trincheira contra os pretensos avanços das especulações ou, por outras palavras, das pretensas teorias científicas sem uma base empírica sólida. Este princípio é arvorado como o único critério para determinar a validade dos conceitos, separando-os entre científicos e metafísicos. Segundo o princípio da economia de pensamento, uma boa teoria científica é aquela que permite a classificação e previsão dos fenómenos sem o recurso a um excessivo número de ideias que não correspondem ao que é observado pelos sentidos – a lei científica corresponde a um enunciado económico, formulado na linguagem matemática (a mais económica e geral), dos resultados experimentais<sup>31</sup>. Na purga dos elementos metafísicos, Mach efectuou uma revisão importante dos fundamentos da mecânica e elaborou um corpo de princípios que pretendia conduzir esta disciplina à pureza antimetafísica. Da necessidade de quatro conceitos fundamentais (espaço, tempo, massa e força) na formulação newtoniana, a mecânica clássica passa a precisar somente de dois conceitos essenciais: espaço e tempo, exprimindo-se a massa e a força em função destes dois.

Pierre Duhem, enquanto físico, notabilizou-se sobretudo com os seus trabalhos de termodinâmica e de química-física. Todas as suas publicações científicas começam invariavelmente por um resumo histórico com o objectivo de «fazer o ponto» da evolução da área sob estudo<sup>32</sup>. Também a compreensão filosófica da construção da física era uma das suas preocupações cruciais, tendo descrito as operações que permitiam construir uma teoria física<sup>33</sup>. Para Duhem o conhecimento de uma disciplina, qualquer que ela fosse, estava invariavelmente ligada ao conhecimento da sua história, o que o levou a aprofundar vários temas, sendo o autor, entre outras, das obras seguintes: *L'évolution de la mécanique*, *Les origines de la statique* (2vols), *Études sur Leonard da Vinci* (3vols), *Le système du monde. Histoire des doctrines cosmologiques de Platon à Copernic* (10 vols). Profundamente católico, Duhem procurou, através de um exame exaustivo de muitos documentos, estudar as ideias dos pensadores medievais, especialmente da baixa Idade Média, no sentido de justificar a sua convicção e que era a seguinte: a revolução científica no séc. XVII não se ficou a dever a uma revolta em relação ao pensamento da igreja, mas, ao contrário, «à aliança entre a

---

<sup>31</sup> Por este motivo a hipótese atomista, supondo o átomo como entidade real, constitui uma teoria física muito complicada. Além disso um átomo nunca se observara, o que implicava a impossibilidade da sua comprovação experimental, logo esta teoria não teria sentido. Este princípio não se preocupa com a constituição da natureza nem com a explicação causal dos fenómenos observados.

<sup>32</sup> (BROUZENG, 1987: 135).

<sup>33</sup> (DUHEM, 1981: 26).

teologia e a observação»<sup>34</sup>. Um ponto de vista manifestamente contra a corrente do que era habitualmente defendido pela comunidade científica. Apesar de, na época, terem sido muito contestadas as suas conclusões, os seus trabalhos sobre as contribuições científicas no período medieval, enquanto precursoras das transformações científicas do século XVII, vieram a revelar-se de uma grande importância. É à sua pesquisa histórica que se deve o conhecimento do papel desempenhado por Leonardo da Vinci, como também o ter feito sair da obscuridade as contribuições de Mersenne e Malebranche.

Pierre Duhem foi na verdade o primeiro grande defensor da tese «continuista» no desenvolvimento da ciência; Comte, embora de uma forma não declarada, também assumira este entendimento, mais de uma forma implícita do que explícita. Para ilustrar esta sua tese, anti-revolução científica do século XVII, é assaz revelador o que Duhem escreveu nas últimas linhas do prefácio a uma das suas obras históricas mais célebres:

«a mecânica e a física, motivos de orgulho dos tempos modernos, desenvolveram-se, através de uma sucessão ininterrupta de aperfeiçoamentos dificilmente observáveis, com base nas doutrinas professadas no seio das Escolas da Idade Média; as chamadas revoluções intelectuais, muito frequentemente, não foram mais do que evoluções lentas preparadas longamente (...) o respeito pela tradição é uma condição essencial do progresso científico»<sup>35</sup>.

É neste final de século que, filho do positivismo comteano, com uma excelente formação científica e filosófica, embora não um cientista nem professor de qualquer disciplina científica, engenheiro de formação, surge o primeiro historiador de ciência que, de forma plenamente assumida, escrevia:

«Para ser um bom historiador da ciência, não basta ser cientista. Antes do mais é preciso querer dedicar-se à história, isto é, ter prazer nisso; é necessário desenvolver em si mesmo o sentido histórico, essencialmente diferente do sentido científico; finalmente é preciso adquirir inúmeros conhecimentos especiais, auxiliares indispensáveis para o historiador, mas absolutamente inúteis para o cientista que só se interessa pelo progresso da ciência»<sup>36</sup>.

---

<sup>34</sup> (BROUZENG, 1987: 143).

<sup>35</sup> «la science mécanique et physique, dont s'enorgueillissent à bon droit les temps modernes, découle, par une suite ininterrompue de perfectionnements à peine sensibles, des doctrines professées au sein des écoles du Moyen Age; les prétendues révolutions intellectuelles n'ont été le plus souvent que des évolutions lentes et longuement préparées (...) le respect de la tradition est une condition essentielle du progrès scientifique» (DUHEM, 1905: IV).

<sup>36</sup> «Pour être un bon historien de la science, il ne suffit pas d'être savant. Il faut, avant tout, vouloir s'adonner à l'histoire, c'est-à-dire en avoir le goût; il faut développer en soi le sens historique, essentiellement différent du sens scientifique; il faut enfin acquérir nombre de connaissances spéciales, auxiliaires indispensables pour l'historien, tandis qu'elles sont absolument inutiles au savant qui ne s'intéresse qu'au progrès de la science» *In* (GUSDORF, 1988:115).

Este homem, Paul Tannery, ensaiava os primeiros passos para a criação de uma História Geral das Ciências onde eram tidos em linha de conta os factores internos da contextualização, sobretudo de natureza institucional e cultural, inerentes. Este historiador, que foi o editor das obras de Diofanto, Fermat e Descartes, tentou dar uma panorâmica da atmosfera de pensamento que compõe o cenário espiritual de cada geração, estudando a estrutura e o papel do sistema de ensino, assim como a difusão das ideias. É opinião da maioria dos autores que foi com Tannery que nasceu o historiador das ciências moderno. O incidente da sua candidatura ao Collège de France, como sucessor de Laffite<sup>37</sup>, foi um golpe duro para a afirmação da história das ciências. Apesar de ter sido o candidato mais votado pelos professores do Collège de France (proposta posteriormente confirmada pela Academia das Ciências) para ocupar a vaga a concurso, foi preterido pelo ministro em exercício que, em seu lugar, empossou o candidato menos votado.

Foi também no final do século XIX que surgiram algumas obras de erudição importantes para história das ciências em geral. Marcelin Berthelot (1827-1907), químico francês, publicou em 1884 a *Origine de l'Alchimie* e Wilhelm Ostwald (1853-1932), outro químico alemão e um dos primeiros prémios Nobel da Química, um defensor do estudo da história das ciências que iniciou em 1889 a publicação de uma vasta colecção, sob o título *Clássicos das Ciências Exactas e Naturais* [*Klassiker der exacten Naturwissenschaften*], traduzindo para a língua alemã os textos originais mais importantes da história das ciências (esta colecção atingiu para cima de 200 obras). De 1880 a 1908 o matemático alemão Moritz Cantor (1829-1920) publicou os seus quatro volumes das *Lições sobre História da Matemática* [*Vorlesungen über Geschichte der Mathematik*] que, temporalmente, se estende da antiguidade até 1799.

### **3. Da história geral das ciências aos primeiros congressos da história da ciências (dos primórdios do século XX à década de vinte)**

Foi com Paul Tannery que nasceu o historiador das ciências moderno e foi também com ele que se deram alguns passos decisivos na afirmação da nova disciplina no seio da comunidade científica internacional: a partir de 1900, muitos dos congressos internacionais de Ciências Históricas passaram a ter uma secção especializada em História das Ciências; em 1903, na cidade de Roma, Tannery propôs a criação de um comité

---

<sup>37</sup> Ver nota 24



internacional, de uma Sociedade e de uma Revista destinados a assegurar a organização permanente desta área do conhecimento.

Os trabalhos de Tannery foram continuados, após a primeira década do século XX, por Georges Sarton (1884-1956)<sup>38</sup> e Aldo Mieli (1879-1950), o primeiro belga e o segundo italiano que, embora sem a passagem pessoal do testemunho por parte do historiador francês, vão ser os fundadores das duas primeiras grandes revistas internacionais de história das ciências. O primeiro funda ainda em 1913, na Bélgica, a revista *Isis* que, posteriormente, passou a ser editada nos Estados Unidos da América, país para onde Sarton se mudou em 1915. Desde então, esta revista passou a ser o órgão da Sociedade Americana de História da Ciência, sendo actualmente o periódico mais antigo consagrado a este domínio. Em 1919, Aldo Mieli fundou em Roma o *Archivio di storia delle scienze* que, em 1927, tomou o título de *Archeion* para, em 1947, se transformar no *Archives Internationales d'histoire des sciences*, publicação que ainda se encontra em plena actividade editorial.

Georges Sarton foi, durante a primeira metade do século XX, o mais incansável activista na defesa de uma prática da história da ciência numa perspectiva que denominou de *New Humanism* [Novo Humanismo], onde assumiu para a actividade científica uma preponderância marcante de entre todas as acções levadas a cabo pelo homem civilizado. Esta expressão aparece num ensaio escrito em 1924, e assenta em três princípios:

«O progresso humano é essencialmente uma função do avanço dos conhecimentos positivos – conhecimento positivo deve ser entendido no mais amplo sentido, de modo a incluir o pouco que é objectivamente conhecido nos campos da religião, política e sociologia. Por exemplo, a maior tolerância religiosa conseguida no mundo moderno é, em certa medida, o resultado do nosso conhecimento mais profundo sobre as religiões dos outros povos (...) 2 – O progresso de cada ramo científico é uma função da marcha dos outros. – Este segundo princípio expressa a unidade essencial do conhecimento. É só por uma questão de conveniência que não consideramos a ciência como um todo indivisível (...) 3 – O progresso da ciência não devido aos esforços isolados de um único povo, mas aos esforços combinados de todos os povos – Este terceiro princípio exprime a unidade essencial da humanidade. Não conheço uma única teoria científica que seja propriedade exclusiva de uma nação, mas mesmo que isso pudesse acontecer, seria fácil mostrar que existem muitas outras teorias que resultam de contributos de outros povos. Assim, a árvore do conhecimento não pode ser concebida como estando enraizada no território de um qualquer país em particular, as suas raízes estão espalhadas por todo o mundo civilizado (...)»<sup>39</sup>.

---

<sup>38</sup> Doutorou-se em Matemática no ano de 1911 na Universidade de Gent (Bélgica).

<sup>39</sup> «(...)1. - Human progress is essentially a function of the advance of positive knowledge.- Positive knowledge should be understood in the broadest manner, so as to include what little is objectively known in

Concluindo:

«(...) A filosofia à qual a história da ciência conduz é o que chamei de Humanismo Novo. Ela incorpora todas as ideias expostas nos capítulos anteriores, os seus princípios são os princípios que expliquei no início. A unidade e a organização da ciência são evidenciadas pelo estudo da sua história. O mesmo estudo explica e demonstra o progresso e a unidade da humanidade (...)»<sup>40</sup>.

Isto é, a história da ciência apresenta-se como a ossatura de uma história da civilização, em que

« A história da ciência, caso seja entendida filosoficamente, vai ampliar os nossos horizontes, o que melhorará o nosso nível intelectual e moral, permitirá aprofundar a nossa compreensão do homem e da natureza (...) A ciência é o património mais precioso da humanidade. É imortal. É inalienável. Só pode aumentar. Não merece este precioso património ser conhecido profundamente, não só em seu estado actual, mas através de toda a sua evolução? (...)»<sup>41</sup>.

O *Novo Humanismo* de Sarton pode ser entendido como um regresso ao positivismo, no sentido em que defende a ideia de um progresso inexorável que acompanha a nossa evolução civilizacional, caldeado pelas ideias do Círculo de Viena que, como adiante se verá, têm no projecto de construção de uma ciência unitária uma das suas características. Em Sarton há uma visão unitária para a História da Ciência em oposição às várias histórias das diferentes ciências e defende que a história da ciência deve ser estudada e ensinada enquanto pilar fundamental da história cultural das civilizações.

---

the fields of religion, politics and sociology. For example, the greater religious toleration obtaining in the modern world is in some measure a result of our deeper knowledge of the religions of other peoples (...) 2. - The progress of each branch of science is a function of the progress of the other branches. -- This second principle expresses the essential unity of knowledge. It is only for the sake of expediency that we do not consider science as an indivisible whole. (...) 3. - The progress of science is not due to the isolated efforts of a single people but to the combined efforts of all peoples - This third principle expresses the essential unity of mankind. I do not know of a single scientific theory which is the exclusive property of one nation, but, even if such theory could be found, it would be easy to show that it involves many other theories which were contributed by other peoples. Thus the tree of knowledge cannot be conceived as being rooted in the soil of any particular country; its roots are scattered all over the civilized world and derive some substance from almost every part of it. (...)» (SARTON, 1924).

<sup>40</sup> «The philosophy to which the history of science leads is what I have called the New Humanism. It embodies all the ideas set forth in the previous chapters; its principles are the very principles which I explained at the beginning. The unity and the organization of science are evidenced by the study of its history. The same study explains and proves the progress and the unity of mankind (...)» (*ibid.*: 32).

<sup>40</sup> «The history of science, if it is understood in a really philosophic way, will broaden our horizon and sympathy; it will raise our intellectual and moral standards; it will deepen our comprehension of men and nature (...) Science is the most precious patrimony of mankind. It is immortal. It is inalienable. It cannot but increase. Does not this precious patrimony deserve to be known thoroughly, not only in its present state but in its whole evolution?» (SARTON, 1948:54ss).

<sup>41</sup> «The history of science, if it is understood in a really philosophic way, will broaden our horizon and sympathy; it will raise our intellectual and moral standards; it will deepen our comprehension of men and nature (...) Science is the most precious patrimony of mankind. It is immortal. It is inalienable. It cannot but increase. Does not this precious patrimony deserve to be known thoroughly, not only in its present state but in its whole evolution?» (SARTON, 1948:54ss).

Aldo Mieli<sup>42</sup> empenhou-se sobretudo na criação, em 1928, da *Academia Internacional de História das Ciências*<sup>43</sup>, iniciativa delicada que, apesar de soçobrar ainda antes do advento da segunda guerra, foi um factor importante no lançamento de alguns núcleos nacionais de História das Ciências. Desta actividade junto da Academia das Ciências de Lisboa, nasceu o Grupo Português de História das Ciências, que se destacou por uma actividade importante nos anos trinta<sup>44</sup>.

Sob o dinamismo de Aldo Mieli, esta academia internacional, de que o *Archeion* passou a ser o órgão, conseguiu estabelecer uma cooperação internacional entre todos os historiadores da ciência, organizando os primeiros congressos internacionais desta disciplina. Em 1929 teve lugar o primeiro congresso em Paris, a que se seguiu o de Londres em 1931, o de Lisboa (Porto e Coimbra) em 1934 e o de Praga em 1937. Depois da segunda guerra mundial, estes congressos prosseguiriam em outras cidades e estender-se-iam a outros continentes. O recomeço da actividade desta academia em 1947, após o conflito mundial, deu-se com a realização em Lausanne do 5º Congresso Internacional de História da Ciência.

A entrada nos anos trinta marca aquilo que, de acordo com a terminologia «kuhniana»<sup>45</sup>, se pode considerar a época «pré-paradigmática» da história da Ciência. Uma época onde se pôs de pé um conjunto de instrumentos necessários à prática da disciplina: edições de obras clássicas, revistas, sociedades científicas, congressos específicos, em suma, os atributos necessários para a constituição de uma comunidade científica. Marcava-se o fim de uma época em que a visão da história da ciência assentava na visão simplista desta disciplina como um progresso contínuo da razão de grandes consequências «humanistas e universalistas». O estádio era «pré-paradigmático», pois, apesar da formação de uma comunidade científica, faltavam-lhe os instrumentos essenciais para avançar de uma forma mais profunda, faltavam-lhe os conceitos...

Foi também a fechar a década de vinte, e perante a riqueza dos avanços científicos contemporâneos — destaque-se as teorias da relatividade e quântica e a logificação da matemática — que a filosofia da ciência vai por em causa, de um modo radical, a

---

<sup>42</sup> Licenciado em Química e História.

<sup>43</sup> Tendo sido apoiada, desde o início da sua actividade, pela colaboração efectiva do então recentemente fundado *Centre International de Synthèse*, as instalações deste Centro constituíram desde a época, e até hoje, a sede da Academia.

<sup>44</sup> (NUNES, 2004)

<sup>45</sup> Terminologia que só dada a conhecer na obra *The Structures of Scientific Revolutions* publicada em 1962 e que adiante será estudada...

necessidade, para seu sustento, da história das ciências. E isto acontece com o Círculo de Viena, cujo manifesto foi apresentado, em 1928, por Hahn (1879-1934) (matemático), Neurath (1882-1945) (sociólogo e economista) e Carnap (1891-1970) (lógico). Propunham-se criar uma ciência unitária que aglomerasse todos os conhecimentos respeitantes à Física, Ciências Naturais, Psicologia, etc, com base numa unificação dos conceitos e teorias das ciências empíricas e sob a descrição de uma linguagem assente na Matemática. Pretendia-se construir uma nova Filosofia da Ciência, mas, desta vez, alijada de qualquer componente dependente do contexto histórico. Para o neopositivismo a evolução histórica do conhecimento científico não era objecto de estudo. Este foi o primeiro grande desafio lançado à comunidade de historiadores da ciência, já muito activa, que vai ser provocador de uma importante viragem na década seguinte, e que persistirá até aos nossos dias.

#### **4. Da história real das ciências aos novos conceitos da história das ideias e da sociologia do conhecimento (a década anterior à 2ª guerra mundial)**

Este desafio vai sofrer um primeiro repto filosófico. Em 1934, assumindo-se como uma reacção à corrente neopositivista, surgem as obras de Gaston Bachelard (1884-1962), *Le nouvel esprit scientifique* (1934) e *La formation de l'esprit scientifique* (1937), onde este filósofo francês defende, baseando-se na história das teorias científicas, que todo o conhecimento se constitui contra um conhecimento anterior, isto é, o desenvolvimento da ciência faz-se por cortes com a visão comum já instalada, são as chamadas «rupturas epistemológicas». Bachelard constrói uma nova corrente da filosofia da ciência, onde mostra que «não existe uma razão superior e exterior à prática científica e à história da ciência»<sup>46</sup>. Professor de Ciências Físico-Químicas, doutorou-se posteriormente em Filosofia com uma tese intitulada *Essai sur la connaissance approchée* (1928), dedicada ao seu orientador, Abel Rey (1873-1940). Rey era professor na Sorbonne, onde leccionava História e Filosofia e as suas relações com as ciências – fundador do "Institut d'histoire des sciences et des techniques" — e um dos principais organizadores do 1º Congresso Internacional em História da Ciência em Paris (1929).

Provavelmente da sua experiência de professor de física e química, Bachelard constatou que se interpretava mal o facto de os alunos não entenderem determinados conceitos, devendo-se abordar este facto de forma contrária: os estudantes entendem, contudo fazem-no de modo diferente, contaminados pelos seus preconceitos, as suas

---

<sup>46</sup> (REALE, 1995: 887).

opiniões próprias, observações e experiências prévias. Daqui foi levado a concluir que era necessário limpar o «terreno» dessas ideias que impedem a compreensão objectiva para que, depois, se possa ensaiar o entendimento de forma diferente. É o que se passa com a história do pensamento em termos históricos: todo o novo entendimento, deverá ser feito a partir da liquidação das concepções anteriores...

No prefácio à sua obra de 1934, escreve:

«(...) Não apenas a história científica faz aparecer um ritmo alternativo de atomismo e de energética, de realismo e de positivismo, de descontínuo e de contínuo, de racionalismo e de empirismo, não apenas a psicologia do sábio oscila, no seu esforço quotidiano, entre a identidade das leis e a diversidade das coisas, mas ainda é sobre cada tema que o pensamento científico se divide de direito e de facto. Não tivemos portanto nenhuma dificuldade em acumular os capítulos que ilustram esta dicotomia. Poderíamos mesmo fragmentá-los, e então, em cada uma das suas características, a Realidade científica aparecer-nos-ia como o ponto de convergência de duas perspectivas filosóficas, estando uma rectificação empírica sempre ligada a uma precisão teórica(...)»<sup>47</sup>.

Assim, no âmbito do discurso da filosofia da ciência, para o entendimento da construção epistemológica das ciências, perfilam-se claramente duas correntes: uma «a-histórica», outra firmando-se em terrenos da história da ciência, mas opondo-se à visão «continuista» do «progresso da razão» tão cara às redacções da *Isis* e do *Archeion* e já defendida anteriormente por Duhem. E as rupturas não vão ficar por aqui.

No ano de 1931, entre 29 de Junho e 4 de Julho, no «Science Museum» em Londres, teve lugar o *II Congresso Internacional de História da Ciência*<sup>48</sup>, um congresso que reuniu umas dezenas de historiadores da ciência e estava fadado, no espírito que anteriormente se caracterizou por «valor humanista da ciência», a mostrar como o pensamento científico, desenvolvido sem grandes rupturas, era um pilar fundamental da história cultural da civilização ocidental. Entre almoços e jantares, com visitas a Greenwich, Cambridge e Oxford, tudo deveria ter acontecido dentro da normalidade habitual que estava prevista. Contudo, poucas semanas antes do início do congresso, a sua comissão organizadora recebeu a notícia que uma importante delegação soviética se inscrevera e participaria nos seus trabalhos, apresentando várias comunicações. Pela primeira vez uma delegação de cientistas soviéticos<sup>49</sup> apresentava-se num congresso científico internacional.

---

<sup>47</sup> (BACHELARD, s/d)

<sup>48</sup> O III Congresso Internacional de História da Ciência ocorreu, como já se disse em 1934 nas cidades de Lisboa, Porto e Coimbra (FITAS, 2008).

<sup>49</sup> Esta delegação era constituída por: Nicolas Boukharine (1888-1938), chefe da delegação, presidente da Comissão de história da Academia das Ciências; Abraham Ioffe (1880-1960, físico e membro da Academia das Ciências; Modeste Y. Rubinstein, economista; Boris Zavadovsky (1895-1951), neurofisiologista e membro

A expectativa e a agitação eram grandes, as repercussões desta visita também não foram menores. Um dos membros da delegação soviética, Boris Hessen (1893-1936), apresentou uma comunicação intitulada *The Socio-Economic Roots of Newton's Principia* [Raízes sociais e económicas dos «Principia» de Newton], onde escrevia

«Comparámos os principais problemas técnicos e físicos deste período com a temática das investigações em física no mesmo período e chegámos à conclusão de que a temática dos problemas de física era principalmente determinada pelas necessidades económicas e técnicas que a burguesia ainda incipiente punha em primeiro plano»<sup>50</sup>.

O cientista soviético analisou a obra do grande fundador da mecânica clássica como o produto do contexto socio-económico da Inglaterra da sua época (a obra do autor dos *Principia* como um fruto da ascensão da classe burguesa na Inglaterra do século XVII). Nas teses de Hessen, a novidade estava no apontar de causas históricas, dos factores sociais, económicos e políticos que determinavam que esse acontecimento científico tivesse ocorrido num local e num tempo bem preciso, independentemente dos «mecanismos próprios e internos» da construção científica<sup>51</sup>; as descobertas de Newton tinham que ser entendidas como respostas aos interesses da burguesia inglesa da época e não como criações de um espírito genal isolado que, mercê dos seus dotes, era o grande responsável por esses avanços no conhecimento físico-matemático. As teses de Hessen sobre Newton, na pátria de Newton, foram de uma grande ousadia, afectaram e influenciaram fortemente muitos historiadores e cientistas de vários países, destacando-se aqui o seu efeito prosélito no grupo inglês<sup>52</sup> de que faziam parte, entre outros, J. D. Bernal<sup>53</sup> (1901-1971), J.Haldane (1892-1964) J.Needham<sup>54</sup> (1900-1995), P.Blackett (1897-1974)<sup>55</sup> e J.G. Growther<sup>56</sup>. Pela primeira vez, e de um modo contundente, prenunciando

---

da Academia das Ciências; Arnost Kolman (1892-1979), matemático; Nicolas Vavilov (1887-1943), botânico, geneticista e membro da Academia das Ciências; Vladimiro Mitkevich (1872-1951), físico; Boris Hessen (1893-1936), físico; pertenciam ao Partido Comunista da União Soviética, Boukharine, Rubinstein, Kolman e Hessen (HUERGA-Melcon, 1999: 27-28).

<sup>50</sup> *In* (HUERGA-Melcon, 1999: 580).

<sup>51</sup> É importante destacar que este trabalho de Hessen corresponde à primeira tentativa de aplicação do materialismo histórico aos estudos de história da ciência, o que constituiu na ocasião uma novidade. Independentemente dos seus contributos importantes de análise, não se deve escamotear, em algumas das suas passagens, o seu carácter apologético – Hessen termina a sua comunicação: «Só na sociedade socialista a ciência se transformará em património de toda a humanidade. Diante dela abrem-se novas vias de desenvolvimento, e não há limite para o seu avanço vitorioso no espaço sem limites e no tempo infinito» *in* (HUERGA-Melcon, 1999: 630).

<sup>52</sup> (WERSKEY, 1979). Designado por «Colégio visível», em oposição ao outro o «colégio invisível»....

<sup>53</sup> Especialista em cristalografia.

<sup>54</sup> Especialista em Bioquímica e autor de alguns dos mais importantes trabalhos sobre a Matemática e a Ciência chinesas.

<sup>55</sup> Físico e Prémio Nobel da Física pelas suas descobertas no campo da física nuclear e radiações cósmicas.

uma ruptura, foi apresentado aquilo a que se convencionou chamar a visão «externalista» na história da ciência: a prevalência ou determinação dos factores externos à própria ciência na construção do conhecimento científico.

Foi a partir daqui, ainda antes da segunda guerra mundial, que se deram alguns passos decisivos no aprofundamento conceptual dos instrumentos metodológicos da história das ciências. É também importante realçar o facto que até Hessen, a história da ciência constituía sempre uma abordagem sustentada numa visão despojada de factores externos, aquilo que se virá a designar pelo “internalismo” numa perspectiva quer “soft” quer “hard”.

Deve ter-se em conta que o congresso atrás descrito ocorreu em 1931, em plena crise económica que, desde 1929, alastrara pelas economias ocidentais e provocava uma fortíssima tensão social. O clima social e económico atraía a atenção de todos os sectores e, ao mesmo tempo, manifestava-se como a grande condicionante da vida quotidiana. A agitação social e as consequentes reacções políticas tomavam conta de todo o espaço europeu, não havia país que lhe ficasse imune. O mundo, a meia dúzia de anos de um novo conflito mundial, parecia dar uma atenção particular à importância do contexto, das condicionantes externas, em relação a todas as manifestações culturais e intelectuais. Era a hora em que se fazia sentir sobre tudo e todos a determinante económica e social. É neste clima efervescente, social e politicamente, que tem que ser compreendido o impacto provocado, não só pela presença de toda a delegação soviética, como das teses expostas por Hessen.

Uns anos depois, o tema levantado pelo físico soviético foi reanalisado por George Norman Clark (1890-1953), um historiador da economia e participante muito atento do congresso de Londres, que escreveu em 1936 um ensaio, *Social and economic aspects of science* [*Aspectos sociais e económicos da ciência*], onde alargava a perspectiva do filósofo soviético, estendendo os factores condicionantes do desenvolvimento científico a diversas áreas sociais, a saber: a cura de doenças e a luta contra as epidemias, o conhecimento do território, a intervenção militar nas guerras, a criação artística, a religião. Contudo, foi uma tese defendida em 1935, e publicada em 1938, que vai lançar um olhar novo sobre o contexto em que se desenvolve a ciência. É a referência a Robert K. Merton (1910-2003) e ao seu trabalho *Science, Technology and Society in seventeenth century England* [*Ciência, Tecnologia e Sociedade na Inglaterra do século XVII*]. Talvez estimulado também pela intervenção dos

---

<sup>56</sup> Cobre noticiosamente o acontecimento para o jornal *Manchester Guardian*.

historiadores soviéticos, fugindo à análise no sentido histórico restrito, mas socorrendo-se da interpretação social, este autor intenta uma história das ciências na vertente da sociologia histórica. Merton admite que o próprio conteúdo das teorias científicas é determinado pelo ambiente social e estuda a sua influência sobre a evolução da ciência, defendendo que esta relação nunca pode ser desprezada. Optando pelo mesmo período de trabalho de Hessen, Merton desenvolveu uma sociologia da ciência, onde, na tradição weberiana, estabeleceu uma correlação entre a ética puritana e a importância dada à ciência na Inglaterra do século XVII. Realçava os valores de uma actividade útil e prática, de acordo com os propósitos de cumprir na terra uma missão imposta por Deus, mostrando que os valores do puritanismo se transformavam numa orientação social:

«Uma das conseqüências do puritanismo foi a reformulação da estrutura social, de tal forma que passou a ter apreço pela ciência».<sup>57</sup>

Em vários capítulos da sua obra Merton refere os trabalhos de Hessen e de Clark, ampliando o conjunto de factores que terão condicionado o desenvolvimento científico, todavia nas suas conclusões finais sublinha com um vigor particular a importância de um outro factor: «a procura desinteressada da verdade»<sup>58</sup>... aquilo que considerou ser um atributo próprio da prática científica ou dos cientistas. Mas outros autores desalinhavam destes pontos de vista.

Ainda na esteira do congresso de 1931, é importante referir a publicação em 1939 do livro de John D. Bernal (1901-1971), *The Social Function of Science* [*A função social da ciência*], que «teve uma profunda influência no desenvolvimento da consciência social dos cientistas de todo o mundo»<sup>59</sup>. Já depois da segunda guerra mundial, no início dos anos cinquenta, Bernal será o autor de um dos livros clássicos na história da ciência que é o *Science in History*<sup>60</sup>.

Contemporaneamente, Alexandre Koyré (1900-1964) apresenta no final da década, em França, um conjunto de artigos, *Études galiléennes*<sup>61</sup>, onde iniciou uma abordagem que mais tarde sintetizaria do seguinte modo:

---

<sup>57</sup> «One of the consequences of Puritanism was the reshaping of the social structure in such a fashion as to bring esteem to science» (MERTON, 1971: 95)

<sup>58</sup> Prenunciador dos seus trabalhos sobre o *ethos* científico que define por quatro atributos: comunalismo, universalismo, desinteresse e cepticismo (Merton R K. (1968). *Social theory and social structure*. New York: Free Press).

<sup>59</sup> (BURSHOP, 1966: 38).

<sup>60</sup> BERNAL, John D. (1969). *Science in History* (4 vols). Harmondsworth: Penguin Books. [Existe uma tradução portuguesa — (1976). *Ciência na História*. Lisboa: Livros Horizonte]

<sup>61</sup> KOYRÉ, A. (1939). *Études galiléennes*. Paris: Hermann. [Existe uma tradução portuguesa — (1986). *Estudos galilaicos*. Lisboa: D. Quixote]



«A história do pensamento científico ensina-nos: 1º- Que o pensamento científico jamais esteve completamente separado do pensamento filosófico; 2º- Que as grandes revoluções científicas sempre foram determinadas por alterações ou mudanças de concepções filosóficas; 3º- que o pensamento científico - refiro-me às ciências físicas- não se desenvolve *in vacuo*, encontra-se sempre no interior de um caldo de ideias, de princípios fundamentais, de evidências axiomáticas que são habitualmente consideradas como partes integrantes da filosofia»<sup>62</sup>.

É uma história das ciências no centro da história das ideias: «Koyré pôs as ciências no centro da história intelectual da nossa civilização»<sup>63</sup>. Evidentemente que esta história das ideias tem também uma dimensão sociológica e política, e não somente filosófica. Assim, segundo Koyré, a evolução do pensamento científico é regida por uma lógica interna sobre a qual as circunstâncias exteriores actuam no sentido de retardá-la ou de lhe criar um clima propício para o seu avanço, não tendo contudo a possibilidade de lhe modificar a direcção, pois não exercem nenhuma influência sobre o próprio conteúdo das teorias científicas, resultando este unicamente de um jogo entre a razão e a natureza. Estes avanços são determinados por «cortes» ou rupturas no quadro das ideias e caracterizam as «revoluções científicas». Koyré abre aquilo que se virá a considerar contemporaneamente como a via «internalista» em história das ciências: a ciência é uma procura da verdade através das ideias e, na sua marcha, ela segue um caminho «inato e autónomo»<sup>64</sup>.

Esta década, anterior ao eclodir do segundo conflito mundial, é muito rica em novas proposta passíveis de novos olhares sobre a história da ciências e da sua relação com a filosofia da ciência. E perante uma crescente afirmação da história das ciências, sobretudo daquilo que se poderia classificar com a sua visão «externalista», Hans Reichenbach (1891-1953), em 1938, um dos homens mais influentes no círculo de Berlim do empirismo lógico, perseguido pelos nazis, publicou, já no seu exílio americano em Chicago, o livro *Experience and Prediction: an Analysis of the Foundation and Structure of Knowledge* [*Experiência e Predição: uma análise dos fundamentos e da estrutura do conhecimento*]. Uma obra importante onde aparece pela primeira vez a distinção fundamental entre o «contexto da descoberta» e o «contexto da justificação». O primeiro diz respeito à tradição das ideias, às conjunturas históricas e institucionais, às influências e motivações sociais e políticas que estão implicados e vão influenciar toda a génese da descoberta científica. O segundo tem a ver com as condições internas para a demonstração de uma teoria, condições estas que dependem da sua construção lógica e da sua verificação experimental. Separavam-se assim claramente os dois

---

<sup>62</sup> (KOYRÉ, 1971: 256).

<sup>63</sup> (REDONDI, 1987: 99)

<sup>64</sup> (GAVROGLU, 2007: 56).

contextos, assumindo que o segundo, na linha de um progresso científico orientado, bastava para explicar a dinâmica das teorias científicas. É esta separação, já assumida pelos neo-positivistas, que, mais tarde, Karl Popper (1902-1994) retomará com o objectivo de rechaçar qualquer tentativa de interpretação histórica da descoberta científica.

Impõe-se agora um breve resumo desta década tão rica em autores e teorias e que vai marcar de uma forma muito viva as ideias que nos são contemporâneas. É neste período que emergem os três eixos, geradores de controvérsia, em torno dos quais se polarizam os caminhos da investigação em História da Ciência.

Se no início da década se assitiu à exposição da tese «externalista» de Hessen, cuja influência foi manifesta nos trabalhos de sociologia da ciência de Merton, nos seus anos finais apareceram os trabalhos de Koyré, onde a dialéctica entre a razão e a natureza, factores «internos» à própria ciência, é tomada como determinante no trajecto desta. Isto é, nas vésperas do segundo conflito mundial, está marcado um dos eixos de controvérsia — externalismo *versus* internalismo — que condicionará, no futuro, os caminhos da história das ciências. O segundo eixo tem a ver com a dialéctica entre «continuismo» e «ruptura (revolução)» como mecanismo do processo do desenvolvimento das teorias científicas. Ideias marcadas pela oposição entre uma marcha clara para o progresso científico estabelecida pelo positivismo, e que, no respeito pela tradição, é sustentada também por Duhem, e as revoluções de ideias de Koyré ou rupturas epistemológicas de Bachelard. É outro tema de controvérsia que voltará a ser trazido para o palco do debate na segunda metade do século. Por último o terceiro eixo de desenvolvimento e que corresponde a relação entre a História e a Filosofia da Ciência. Assim, em termos filosóficos, apresentam-se os dois trilhos que a filosofia da ciência irá seguir: o primeiro, na esteira de Bachelard e Koyré, fortemente ligado à história da ciência, ou aquele para quem esta disciplina constitui um instrumento fundamental; o segundo, na linha do empirocriticismo e de Reichenbach, de uma clara separação entre o «contexto da descoberta» e o «contexto da justificação», reservando para este último o objecto da filosofia da ciência ou a negação da necessidade da história da ciência como instrumento imprescindível na compreensão da construção do conhecimento científico. Os trabalhos de Bachelard e Koyré, especialmente com o magistério do primeiro, marcarão um estilo de História da Ciência fortemente ligado à vertente epistemológica de análise do conhecimento científico, uma história mais

«filosófica» e crítica que não se deixa limitar pelo historicismo simples<sup>65</sup> e que se orienta sobretudo para o campo da História das ideias.

## 5. E depois da II Guerra

A II Guerra mundial e os anos que se lhe seguiram proporcionaram ao meio científico um período de intensa transformação e desenvolvimento. Além das novas descobertas e das suas aplicações tecnológicas, o mundo científico foi acompanhado, efectivamente, de uma modificação de relações com o poder político e económico, pois a ciência tornara-se uma fonte reconhecida de domínio e de lucros. Paralelamente houve importantes modificações internas: a investigação passou a fazer-se em grandes laboratórios industriais e militares, a concorrência tornou-se mais intensa; os «sábios» isolados passaram a uma situação marginal. O cenário da pesquisa científica passou a ser ocupado por equipas detentoras de equipamento pesado e movimentando verbas consideráveis. As motivações que impeliam à investigação alteraram-se...

Eis um testemunho exemplar, datado do ano imediatamente seguinte ao fim da guerra: Wolfgang Pauli (1900-1958), prémio Nobel da física em 1945 e um dos raros físicos de primeiro plano que, residente nos Estados Unidos, permaneceu à margem do projecto Manhattan, deu-se perfeitamente conta do risco que implicava a oferta feita pelos militares às novas gerações de cientistas. Numa carta escrita a Einstein em 19 de Setembro de 1946, assinalava:

«Entendo por intromissão, não só a censura como também a influência nos trabalhos experimentais. É fácil captar gente jovem prometendo-lhe bons lugares e alimentar-lhe boas expectativas de uma carreira brilhante»<sup>66</sup>.

Este é um quadro pintado a cores relativamente carregadas, mas ajuda a compreender as transformações que a história das ciências vai sofrer nas décadas seguintes. O papel dos grandes laboratórios, dos grandes financiamentos, a organização das equipas científicas, a crescente perda de autonomia do investigador individualmente, sobretudo nas grandes metrópoles científico-tecnológicas, os novos métodos de avaliação curricular, as relações no interior do meio científico, são alguns dos aspectos novos que vão chamar a atenção dos historiadores da ciência.

---

<sup>65</sup> Esta relação mais estreita entre a História e a Filosofia da Ciência é observável sobretudo nos autores franceses. Uma linhagem que talvez se tenha iniciado com Abel Rey que orientou o trabalho de Bachelard, e a quem este dedicou a sua tese de doutoramento. Bachelard, por sua vez, passou o testemunho a Canguilhem (*Le Normal et le Pathologique*), e a quem este último dedica a sua dissertação, orientador da tese de Foucault (*Histoire de la folie à l'âge classique*) que, não se furtando à tradição, a dedicou também ao seu mestre.

<sup>66</sup> In (SANCHEZ RON, 1992: 355)

À saída da segunda guerra mundial, a velha Europa, devastada, deixou de ser, pelo menos na década seguinte, o grande palco da circulação e produção de ideias. No novo teatro da representação científica, agora centrado em algumas cidades norte americanas, no espaço de um continente que fora poupado à destruição directa que se abatera sobre quase todos os países europeus, assiste-se à reorganização da actividade científica, um movimento de que os historiadores da ciência não se puseram à margem e de que assumiram a quota parte que lhes era devida.

Os êxitos técnico-científicos e a necessidade de mão de obra científica cada vez mais especializada, e apta, vão contribuir para impor uma determinada imagem da ciência. Era inegável o prestígio que a ciência adquiriu na sociedade norte americana no pós-guerra. Em 1955 a American Philosophical Society e a National Science Foundation promoveram um encontro com o fito de discutir a relação entre a Filosofia, a Sociologia, a História das Ciências e as próprias Ciências, bem como o papel que aquelas desempenhariam no ensino destas. Das discussões havidas concluiu-se que

«A História das Ciências deveria centrar-se na análise dos factores que existem no interior da ciência, na dinâmica das ideias, na eficiência dos métodos matemáticos, nas potencialidades dos novos instrumentos (...) uma coisa são as condições de origem, outra o desenvolvimento das ciências, o qual, no entanto, não tem a ver com as condições externas»<sup>67</sup>.

Isto é, optou-se por uma prática abertamente identificada com a visão «internalista» da construção do conhecimento científico, e aqui talvez não se deva ignorar a influência marcante de Koyré em muitos académicos americanos, visto que, no pós-guerra, passou a colaborar regularmente, enquanto investigador<sup>68</sup> e professor, em algumas das mais prestigiadas instituições universitárias norte americanas<sup>69</sup>. Esta atitude na prática da história da ciência é modelarmente expressa nos célebres *Harvard Case Histories in Experimental Science*. Uma espécie de história de casos exemplares de «um conjunto de teorias complexas e resultante da actividade de algumas mentes privilegiadas em prescrutar e desvendar os segredos do mundo natural». Um exemplo que vai moldar, nas décadas imediatas ao pós-guerra, o trabalho em história das ciências, empurrando-o para segundo plano, e como realidade relativamente difusa, a visão contextual exterior à prática científica propriamente dita.

---

<sup>67</sup> (GAVROGLU, 2007: 59).

<sup>68</sup> Um dos grandes exemplo é a sua colaboração com I. Bernard Cohen no estudo e reedição da obra de Newton

<sup>69</sup> Em 1956 passou a pertencer ao Institute for Advanced Study of Princeton.

Em 1962, após vários estudos no domínio da história da ciência, em particular a publicação do livro *The Copernician Revolution*<sup>70</sup> de 1957, o físico e historiador americano Thomas S. Kuhn (1922-1996), que fora um activo colaborador em Harvard de James Connant (1893-1978), o mentor do edição dos *Harvard Case Histories in Experimental Science*, publicou o livro *The structure of scientific revolutions* [*A estrutura das revoluções científicas*] que, embora no decorrer dos últimos quarenta anos tenha exercido uma enorme influência sobre a prática dos historiadores da ciência, na altura da sua publicação pareceu passar relativamente despercebido.

Neste livro o autor cria quatro conceitos base: comunidade científica e consenso, paradigma, ciência normal e revolução científica. A comunidade científica é o conjunto dos cientistas profissionais, empenhados na prática científica e no seu ensino, que «organizadamente» define o seu quadro conceptual para entender a natureza, que deverá ser comum a todos os seus membros e aceite por consenso entre si. No estudo dos fenómenos naturais um ou mais cientistas estabelecem novos conceitos, novos métodos, novas teorias que se revelam fortemente prometedoras na explicação dos fenómenos em causa, é o surgimento do «paradigma»; o seu êxito está condicionado pelo sucesso que oferecerá na explicação de um determinado grupo de fenómenos. O «paradigma» impõe-se a toda a comunidade científica como a chave na explicação das observações e experiências e também pelos testes que são feitos à sua capacidade em resolver novos problemas que surgem, ele é aceite «consensualmente». Os problemas científicos transformam-se assim em enigmas (*puzzles*) que a comunidade científica vai pacientemente procurando resolver dentro do quadro do «paradigma» aceite. É o período da «ciência normal» onde reina a «tranquilidade teórica» e é de grande importância no «amadurecimento histórico da ciência». Perante fenómenos que resistem à explicação dentro do «paradigma» aceite, este começa a revelar-se como uma fonte de problemas e de incongruências. Surge então a necessidade de uma ruptura paradigmática, é a «revolução científica»: perfilam-se no horizonte novos «paradigmas», há uma quebra de «consenso», mas a comunidade científica vai resistir à mudança. É um período de crise mais ou menos longo, sem «consenso» e com debates fortemente polémicos que corresponde à afirmação, e consequente aceitação, do novo paradigma. Reinicia-se o ciclo...

---

<sup>70</sup> KUHN, T. (1957). *The Copernician Revolution*. Cambridge, MA.: Harvard University Press. [Existe uma tradução portuguesa — (1990). *Revolução Copernicana*. Lisboa: edições 70]

Perante este quadro desenhado por Kuhn, o avanço da ciência dependerá mais das instituições e comunidades científicas, do seu posicionamento em relação ao «paradigma», do que das teorias científicas propriamente ditas. Eis um dos caracteres mais salientes da nova tendência da história das ciências: o seu interesse, por exemplo, pelas academias, associações de «sábios», hierarquias no espaço científico, relações entre cientistas e toda a sociedade; é o entendimento de toda a contextualização que vai permitir a afirmação de um determinado «paradigma».

Kuhn corresponde à intersecção de duas linhagens de pensamento: uma no seguimento da ideia de «revolução científica», já definida por Koyré, e também por Bachelard, no plano das discontinuidades do pensamento sobre a filosofia da natureza em geral, influência da componente «internalista»; a outra na linha da afirmação do contexto cultural, social e económico, enquanto componentes intrínsecas do conceito de paradigma, como factor determinante no desenvolvimento científico, a influência dita «externalista». É exactamente por ocupar esta posição de intersecção que as ideias de Kuhn vão provocar um grande impacto nas comunidades de historiadores, de filósofos e de sociólogos da ciência. Não deixa de ser irónico o facto de *The structure of scientific revolutions* ter sido encomendado por Carnap, destacado filósofo neopositivista e lógico<sup>71</sup>, para a *Encyclopedia for the Unified Science*, velha aspiração do círculo de Viena.

Já se escreveu que no ano da publicação da *Estrutura das Revoluções Científicas*, o livro não sobressaiu, todavia o

«acontecimento crucial que contribuiu para uma maior reputação de Kuhn foi o Colóquio Internacional em Filosofia da Ciência que teve lugar no Bedford College em Londres em Julho de 1965. Kuhn foi convidado na qualidade de um jovem promissor historiador da ciência cujas ideias tinham implicações filosóficas. Saiu do colóquio como o maior interveniente na competição entre os «grandes sistemas» da metodologia da ciência. Entre os outros intervenientes encontravam-se Karl Popper, Imre Lakatos, Paul Feyerabend, Stephen Tuolmin e, também, colectivamente os positivistas, incluindo o novo colega de Kuhn, Carl Hempel<sup>72</sup>.

As actas desta conferência serão publicadas, após revisões dos textos, em 1970<sup>73</sup>. Este volume abre e encerra com dois textos de Kuhn, o primeiro argumentando a favor da *Estrutura das Revoluções Científicas* e o segundo apresentando as *Reflexões sobre as críticas* que lhe foram dirigidas. Kuhn foi o objecto das outras intervenções, nas quais se inclui o trabalho

---

<sup>71</sup> Um dos primeiros animadores do manifesto do Círculo de Viena, por razões políticas emigra em 1936 para os EUA, passando então a ser professor na Universidade de Chicago

<sup>72</sup> (NICKLES, 2003: 10).

<sup>73</sup> (LAKATOS & MUSGRAVE, 1970).

de Imre Lakatos (1922-1974) com uma exposição sobre a sua *metodologia dos programas de pesquisa científica* enquanto explicação lógica para o desenvolvimento científico, interpretando as revoluções científicas com um progresso racional e não uma transformação resultante de factores diversos e estranhos à prática científica<sup>74</sup>. É de Lakatos a paráfrase, «a filosofia da ciência sem a história da ciência é vazia; a história da ciência sem a filosofia da ciência é cega», isto é, a história da ciência pode decidir sobre propostas filosóficas ou metodológicas e, por sua vez, a filosofia empresta ao historiador os instrumentos necessários para entender a construção científica. Há aqui um reforço claro da tendência «internalista» da história da ciência.

## 6. A partir da década de setenta...

Kuhn, com a criação do conceito de paradigma, abriu uma caixa de Pandora e dela saíram ideias que preconizavam que, por exemplo, o avanço da ciência dependeria mais das instituições e comunidades científicas do que das teorias científicas propriamente ditas. O compromisso com o «paradigma» não é feito de acordo com regras explícitas, é feito «em função das necessidades pragmáticas dos cientistas». Por isso uma das características mais salientes das tendências da história das ciências pós-Kuhn é o seu interesse, por exemplo, pela actividade dos grupos informais de cientistas, práticas internas dos laboratórios, hierarquia inerente aos grupos de investigação e, em geral, pelas relações entre o espaço científico e a sociedade. Dá-se uma particular atenção às relações não só entre a ciência e qualquer forma de poder, bem como entre o pensamento científico e todas as formas de cultura que lhe são contemporâneas. Não admira, portanto, que os investigadores tenham percebido que era altura de procurar, nos baús abandonados dos sótãos esquecidos da história, os casos (muito deles foram revisitados) onde a validade das teorias científicas não fosse apenas determinadas por critérios estritamente científicos (experiências cruciais e universalmente reprodutíveis), mas onde intervissem juízos de outra natureza como, por exemplo, a simplicidade, a utilidade, ou até de índole político-ideológica. Esta orientação vai ser consagrada no XVII Congresso Internacional de História das Ciências que se realizou-se no Verão de 1985 em Berkeley, nos EUA, onde o próprio Kuhn intervem como convidado. E tudo isto coloca novos, e mais complexos, problemas à história e à filosofia da Ciência<sup>75</sup>.

---

<sup>74</sup> (LAKATOS, 1970).

<sup>75</sup> (GALISON, 2008).

Pode afirmar-se que trabalho de Kuhn trouxe para o primeiro plano da análise do desenvolvimento científico três ideias centrais: primeira, o conceito de revolução científica ou o aprofundamento da perspectiva descontinuísta na compreensão da construção histórica da ciência, uma ruptura associada à mudança de paradigma que, segunda ideia, abriu os factores de decisão científica à influência de contexto «não científico» (social, cultural, ideológico...), reforçando um olhar «externalista» em toda a história da ciência, permitindo deste modo, terceira ideia, uma forte interpenetração entre os domínios histórico e filosófico da ciência. Três ideias que vieram para ficar, suscitaram e suscitam muita discussão, mas a que nem todos os historiadores da ciência aderiram, propondo novos olhares sobre a história do conhecimento científico.

Assim, e contrastando com o panorama exposto, destacam-se as ideias defendidas, a título de exemplo, por dois autores: Steven Shapin (1943- ) e Gerald Holton (1922- ).

O primeiro, Steve Shapin, é um historiador da ciência cuja trajectória partiu da filosofia para a sociologia do conhecimento científico, afastando-se da posição radical de que este conhecimento provém de uma construção social, admite que a natureza e os fenómenos naturais existem (são independentes das estruturas sociais), mas os factos gerados em seu redor são ou tornam-se credíveis devido a um conjunto complexo de factores sociais<sup>76</sup>. Shapin põe em causa o conceito de revolução científica e escreve,

“(...) o relato da revolução científica que conte a história de conceitos livres e flutuantes é muito diferente daquele que a história de práticas de construção de conceitos nos oferece (...) é muito maior o interesse dos historiadores pelo “quem” da Revolução Científica (...) se apenas muito poucas pessoas tomaram parte nessas transformações, que sentido faz, caso faça algum, falar de uma Revolução Científica que introduz enormes mudanças no modo como “nós” vemos o mundo (...)»<sup>77</sup>.

O segundo autor, Gerald Holton, um físico que desde o início da sua carreira praticou história da ciência, distancia-se claramente das perspectivas expostas e defende uma tese que se pode apelidar de “invariância histórica” sob a forma de análise “temática”<sup>78</sup> ou dos *themata*,

---

<sup>76</sup> SHAPIN, Steven and Simon Schaffer (1985). *Leviathan and the Air-Pump: Hobbes, Boyle, and the Experimental Life*. Princeton: Princeton University Press

<sup>77</sup> (SHAPIN, 1999: 26).

<sup>78</sup> HOLTON, G. (1988). *Thematic origins of Scientific Thought: Kepler to Einstein*. Cambridge: Harvard University Press.



«(...) devemos considerar que quando os cientistas publicam os resultados do seu trabalho em revistas, livros etc, estes trabalhos são submetidos para serem aceites naquilo que pode ser chamado como Ciência Pública. A fim de a distinguir da fase anterior do seu esforço, à actividade individual do cientista durante o período de criação reserva-se a designação de Ciência Privada (...) O erro vulgar de usar o termo "ciência", sem fazer esta distinção, pode ser flagrante quando o historiador da ciência tenta entender a motivação dos cientistas para resolver os seus problemas de investigação: a escolha de ferramentas conceptuais ou o tratamento dos seus dados. Em todos estes casos, é provável que durante o período de trabalho "privado" de criação, alguns cientistas, conscientemente, ou não, utilizam motivações e pressupostos muito gerais ou hipóteses que não são directamente deriváveis dos fenómenos e, como tal, não são demonstráveis ou falsificáveis. Mas quando esse trabalho se propõe entrar na fase "pública" da ciência estas motivação – que o autor denominou pressupostos temáticos ou hipóteses temáticas – tendem a ser suprimidas e desaparecem da observação»<sup>79</sup>.

Holton julga que existem poucos themata na história da ciência e que só raramente surgem novos, manifestando-se sobretudo como pares de opostos (cheio/vazio, simples/complexo, contínuo/discreto...). Um exemplo desta estratégia por ele estudada diz respeito ao trabalho de Millikan na determinação da unidade básica de carga eléctrica<sup>80</sup>.

Muitos outros trabalhos se poderiam citar. Não é possível sintetizar, nem desenvolver a análise não só dos autores, como dos prolongamento das várias tendências, ou escolas, no domínio da História e da Filosofia das Ciências e das suas interrelações, a obra do historiador dinamarquês Helge Kragh<sup>81</sup> continua a ser aquela que apresenta uma panorâmica mais ampla sobre o tema.

## 7. Bibliografia citada

BACHELARD, Gaston (S/D), o novo espírito científico. Lisboa: Edições 70.

BROUZENG, Paul (1987). *Duhem, science et providence*. Paris: Belin.

BURSHOP, E.H.S. (1966). *Scientists and Public Affairs*, in M.Goldsmith and A. Mackay (ed.), *The Science of Science*. Harmondsworth: Penguin Books

<sup>79</sup> «(...)we must consider that when scientists publish the results of their work in journals, textbooks etc., they are submitted for acceptance into what could be called Public Science. In order to distinguish it from the prior stage of their effort, the scientist's individual activity during the nascent period. which deserves the term Private Science (...) The common error of using the word "science" without making this distinction can show up glaringly when the historian of science tries to understand the motivation of scientists for pursuing their research problems: the choice of their conceptual tools or the treatment of their data. In all these cases, one is likely to discover that during the nascent "private" period of work some scientists, consciously or not use highly motivating and very general presuppositions or hypotheses that are not directly derivable from the phenomena and are not provable or falsifiable. But when such work then is proposed for entry into the "public" phase of science these motivating aids – which the author has termed *thematic presuppositions or thematic hypotheses* – tend to be suppressed. and disappear from view» (HOLTON, 1996: 454)

<sup>80</sup> A forma como Millikan manipula os dados obtidos experimentalmente de tal modo que obtém os resultados estatísticos convenientes ao que se pode definir como a sua "estratégia thematica".

<sup>81</sup> (KRAGH, 2001).

CONDORCET (1946). *Quadro dos progressos do Espírito humano*. Lisboa: Edições Cosmos (n<sup>os</sup> 104/105 da Biblioteca Cosmos).

D’ALEMBERT, Jean Le Rond (1894). *Discours préliminaire de l’Encyclopédie*. Paris : Armand Colin et Cie, Éditeurs.

DAUMAS, Maurice (1966). *Préface*. In Maurice Daumas (Direcção de), *As Ciências (Enciclopédia da Pléiade)*. Lisboa: Editora Arcádia Limitada (versão portuguesa, sob a orientação de Luís Albuquerque).

DUHEM, Pierre (1905) *Les origines de la statique* (t.I). Paris : Hermann..

DUHEM, Pierre (1981). *La théorie Physique, son object et sa structure*. Paris: Vrin.

FTAS, A.J., Marcial. E. Rodrigues, M. Fátima Nunes (2008). *Filosofia e História da Ciência em Portugal no século XX*. Lisboa: Caleidoscópio.

GALISON, Peter (2008). *Ten Problems in History and Philosophy of Science*. ISIS. 99(1): 111–124.

GAVROLU, Kostas (2007). *O Passado das Ciências como História*. Porto: Porto editora.

GUSDORF, Georges (1977). *De l’histoire des sciences à l’histoire de la pensée*. Paris: Payot. [Existe uma tradução portuguesa — (1988). *Da História das Ciências à História do Pensamento*. Lisboa: Pensamento-Editores Livreiros,lda.]

HESSEN, B. (1999). Las raices socioeconómicas de la Mecânica de Newton (1931). In HUERGA-Melcon, Pablo. *La ciencia en la encrucijada*. Oviedo: Pentalfa Ediciones.

HOLTON, G. (1996). The Role of Themata in Science. *Foundation of physics*. 24(4):453-465.

HUERGA-Melcon, Pablo (1999). *La ciencia en la encrucijada*. Oviedo: Pentalfa Ediciones.

KOYRÉ, A. (1971). *Études d’histoire de la pensée philosophique*. Paris: Gallimard.

KRAGH, Helge (2001). Introdução à Historiografia da Ciência. Porto: Porto Editota.

KUHN, T. (1962). *The structure of scientific revolutions*. Chicago: The University of Chicago Press.

LAKATOS, I. (1970). Falsification and the Methodology of Scientific Research Programmes. In LAKATOS, I. & A. Musgrave, eds. *Criticism and the Growth of Knowledge*. Cambridge: Cambridge University Press.

LAKATOS, I. & A. Musgrave, eds (1970). *Criticism and the Growth of Knowledge*. Cambridge: Cambridge University Press.

MACH, Ernst (1974). *The Science of Mechanics, A critical and Historical Account of its development*. London: The Open Court Publishing Co.

MACH, Ernst (1974b). *Principles of the Theory of Heat - Historically and Critically Elucidated*. Dordrecht: D.Reidel Pub.Comp. (Brian McGuinness (ed.)).

MERTON, Robert K. (1971). *Science, Technology and Society in seventeenth century England*. London: Harper Torchbooks.

NICKLES, Thomas (ed.) (2003). *Thomas Kuhn*. Cambridge. Cambridge University Press.

NUNES, Maria de Fátima (2004). On the History of Science in Portugal (1930-1940). The Sphere of Action of a Scientific Community. E-journal of Portuguese History 2(2).

REALE, G. e D. Antiseri (1995): *Historia del pensamiento Filosófico y Científico*, tomo III. Barcelona: Editorial Herder.

REDONDI, Pietro (1987). *El oficio del historiador de las ciencias y de las técnicas*. In LAFUENTE, A. y J. Saldaña (coord.), *Historia de las Ciencias*. Madrid: CSIC.

SANCHEZ RON, José Manuel (1992). *El Poder de la Ciencia*. Madrid: Alianza Editorial.

SARTON, Georges (1924). The New Humanism. *ISIS*, 6: 9-42.

SARTON, Georges (1948). *THE LIFE OF SCIENCE, Essays in the History of Civilization*. New York: H. Schuman.

SHAPIN, Steve (1999). *A Revolução científica*. Lisboa: Difel.

TORGAL, Luís R., José Amado Mendes, Fernando Catroga (1998). *História da História em Portugal (A História através da História)* (vol.I). Lisboa: Temas e Debates.

WERSKEY, Gary (1979). The Visible College, the collective Biography of British Scientific Socialists of the 1930s. New York: Holt, Rinehart and Winsto.

WHEWELL, William (1875). *History of the inductive sciences, from the earliest to the present time*. New York: D. Appleton and Company.

WHEWELL, William (1847). *The philosophy of the inductive sciences, founded upon their history*. London: John W. Parker, West Strand.



## **A Ciência e a Filosofia da Ciência na transição para o século XX<sup>1</sup>**

O alargamento espantoso das fronteiras da ciência ao longo de todo o século XIX fez com que a visão de conjunto estabelecida pela filosofia natural se perdesse. O homem de ciência começou a interessar-se muito mais pelo funcionamento dos seus instrumentos e pelos resultados das suas observações do que pela conjectura filosófica. No plano filosófico e científico surgiu um forte impulso de sobrevalorização da ciência experimental, da ciência como instrumento valioso que permitia ao homem controlar as condições naturais e sociais de vida. Não é possível ignorar os resultados técnicos obtidos a partir do desenvolvimento científico, um avanço que tem que ser situado no contexto duma sociedade que assiste à segunda grande revolução industrial, e a consequente renovação do ensino científico e técnico.

É o século em que alguns pensadores pretenderam pôr de lado qualquer especulação dita metafísica, procurando desenvolver o utilitarismo científico como único meio de valorizar a pesquisa científica. Esta atitude teve profundos reflexos na forma como se repensaram os fundamentos do edifício científico que vinha a ser construído desde a revolução científica do século XVII. Esta posição, que se pode classificar como positiva, procurou eliminar da ciência aquilo que os seus prosélitos apelidavam de pontos de vista «metafísicos», alicerçando toda a construção científica numa base que tivesse em conta exclusivamente a descrição «pura» dos fenómenos naturais. A matemática representava em toda esta cena o papel decisivo de uma linguagem específica, sobretudo muito económica, cuja função era expressar as relações entre as várias grandezas envolvidas na descrição da natureza.

### **1.1 O panorama científico no século XIX**

A matemática, durante o século XIX, caracterizou-se pelo empenhamento dos seus construtores em duas linhas principais de investigação: a primeira que se pode designar como a aritmetização da análise infinitesimal; a segunda representada pela libertação da matemática em relação ao mundo da filosofia natural e que corresponde à criação das geometrias não euclidianas.

---

<sup>1</sup> Fitas, Augusto J., Marcial. E. Rodrigues, M. Fátima Nunes, 2008, *Filosofia e História da Ciência em Portugal no século XX*, Lisboa, Caleidoscópio (Capítulo I)

A aritmetização, ou redução dos princípios da análise aos conceitos aritméticos mais simples, conduziu à fundamentação clássica da teoria dos números reais e, em particular, à redução da aritmética à teoria dos conjuntos, criando um instrumento teórico capaz de abrir as portas à possibilidade de unificação de toda a matemática. Dentro deste programa, no qual se destacaram os matemáticos Weierstrass, Kronecker, Cantor e Dedekind, apareceu uma outra orientação para a fundamentação da aritmética que sustentava a possibilidade de sujeitar ao procedimento algébrico não somente as grandezas, mas também as proposições que eram objecto da lógica clássica. Passou a traduzir-se a lógica tradicional em termos de simples equações, passo decisivo para a criação da «lógica simbólica», o ramo da matemática que garantia um controlo rigoroso das demonstrações matemáticas. A lógica, onde se salientaram os trabalhos de Frege e Boole, tornou-se o instrumento fundamental para erigir, de modo correcto e rigoroso, todo o edifício matemático. Peano, professor de matemática na Universidade de Turim, apresentou, em 1889, com o seu *Arithmetices Principia Nova Methodo Exposita*, uma ambiciosa construção, similar à de Frege, onde expõe os seus célebres cinco axiomas da aritmética e «desenvolve a formalização de uma linguagem que devia abarcar não só a lógica matemática mas também todos os ramos da matemática» (Boyer, 1989: 667).

Contemporaneamente ao desenvolvimento da análise e da álgebra, também a geometria, o segundo programa de investigação, vai ser objecto de importantes aprofundamentos. Esta disciplina que, através da obra de Euclides, *Elementos*, se constituíra ao longo de muitos séculos como o símbolo do rigor da exposição lógica dos trabalhos físico-matemáticos, vai ser sujeita, em particular o célebre quinto postulado (o postulado das paralelas), ao crivo de muitas interrogações. Os trabalhos de Gauss em Gotinga na Alemanha, de Bolyai em Budapeste na Hungria, de Lobachevski em Kazan na Rússia e de Riemann em Gotinga, deram origem às geometrias não euclidianas. É a este último que se ficou a dever a criação de uma geometria em que se usava um outro enunciado para o quinto axioma: duas rectas quaisquer de um plano têm sempre pelo menos um ponto comum. Uma geometria onde não existem rectas paralelas, ou onde a definição de paralelismo é diferente, e que se veio a revelar importantíssima para a física do século XX. Se já se conseguira separar a análise de toda a intuição geométrica que a sustentava, fundando-a na aritmética, uma espécie de libertação do mundo das formas, conseguia-se agora também que a geometria matemática se libertasse da

geometria do mundo físico, uma espécie de libertação da sensibilidade *a priori* em Kant.

As características da Física no século XIX podem definir-se, no essencial, pelo progresso na pesquisa segundo dois programas de investigação: o primeiro, o mais antigo e que já se vinha desenvolvendo na esteira da filosofia natural dos séculos passados, correspondeu ao triunfo das ideias mecanicistas enquanto quadro geral da explicação dos fenómenos naturais; o segundo, o mais jovem, porque nascido neste mesmo século e dificilmente filiável numa genealogia secular, era equivalente à afirmação do conceito de energia enquanto conceito unificador de toda a Física. Importa aqui sublinhar que estes dois programas não eram concorrentes, não disputavam entre si a primazia como quadro explicativo fundamental dos conceitos físicos. Inversamente, eles podem considerar-se como complementares: o desenho conceptual da ideia de energia foi a ferramenta que permitiu que os novos domínios do calor, da luz e da electricidade, em conjunto com a velha mecânica, fossem abarcados pela mesma estrutura conceptual, isto é, a explicação mecanicista da natureza. Foi neste século que novas disciplinas da Física se desenvolveram teórica e experimentalmente: a termodinâmica, a óptica e o electromagnetismo. Foi neste século que surgiu uma nova síntese teórica, entre o electromagnetismo e a óptica, construída por Maxwell e experimentalmente comprovada, nove anos após a morte deste, por Hertz. Esta construção é considerada como a primeira grande síntese na Física após o reinado de Newton e, na sua essência, não se afasta das ideias mecanicistas. Maxwell, ao estudar as linhas de força propostas por Faraday, propôs um modelo de um meio fluido e elástico que constituiria o suporte da acção electromagnética, traçando o retrato do seu funcionamento mecânico no *Tratado* publicado em 1873: «A tentativa que fiz para construir um modelo desse mecanismo, não deve ser tomada mais a sério do que realmente ela representa, a demonstração de que um mecanismo pode ser capaz de produzir uma relação mecânica equivalente à actual relação entre as partes do campo electromagnético» (Maxwell, 1954: 470). Este esforço de Maxwell em elaborar o mecanismo de funcionamento do seu éter mostra quão arreigada estava ainda, nos meios científicos, a concepção mecanicista da natureza.

Desde o princípio do século XIX que os físicos exploravam experimentalmente a inter conversão entre diferente tipos de fenómenos: químicos e eléctricos com Davy,

eléctricos e magnéticos com Oersted e Faraday, luminosos e térmicos com Melloni. Foram estes trabalhos que permitiram a Mayer, Joule e Helmholtz o estabelecimento do princípio geral da conservação da energia ou primeiro princípio da termodinâmica. Foi no segundo princípio da termodinâmica (Carnot, Clausius e Kelvin) que se introduziu um novo conceito físico, a entropia, grandeza que exprime a desordem de um sistema isolado e que é forçada a aumentar quando sujeita a uma transformação irreversível. A noção de irreversibilidade, à qual a concepção mecanicista parece estar completamente alheia, provocou uma contradição entre o mecanicismo e a termodinâmica. Uma contradição que era aparente, tal como o demonstraram Maxwell, Gibbs e Boltzmann ao aplicarem métodos estatísticos aos sistemas termodinâmicos que supunham serem constituídos por um grande número de partículas. Mais uma vez a concepção mecanicista da natureza se impunha, contudo havia quem se opusesse a esta concepção que se manifestava triunfante. Oposição onde se destacava Ostwald, um dos fundadores da química-física, que desenvolveu uma teoria geral da «energética», procurando mostrar que a energia era a única entidade real da natureza, contrariando toda e qualquer explicação da termodinâmica que usasse os conceitos atómicos, isto é, os métodos da mecânica estatística.

A Biologia do século XIX era dominada pela grande revolução científica operada pela obra de Darwin, *A Origem das Espécies*, cujas repercussões se estenderam muito para lá do domínio desta ciência. Com o evolucionismo desapareceu a imagem que durante milénios fora construída sobre o homem e todo o reino animal, uma imagem em que todas as espécies eram fixas e imutáveis desde o acto da criação. Darwin colocava os animais submetidos à escala temporal de milénios, tal como Lyell já o fizera para o próprio planeta nos seus *Princípios de Geologia*. No essencial Darwin defendia: primeiro, há evolução das espécies, estas não são imutáveis e o seu desenvolvimento gradual dá origem a espécies diferentes; segundo, o mecanismo deste processo é a selecção natural.

Se a teoria de Darwin e todo o debate científico-filosófico que a envolveu marcam de uma forma determinante a Biologia do século XIX, uma outra descoberta científica, as Leis de Mendel, não foi menos importante no avanço futuro desta disciplina. Mendel, ao cruzar e fecundar artificialmente certas variedades de ervilhas, estudando os resultados obtidos, contribuiu de um modo decisivo para os primeiros passos da



genética. É a genética que, fora da teoria da evolução, fez progredir a compreensão dos mecanismos da herança biológica.

## 1.2 A ciência na mudança de século

No segundo congresso internacional de Matemática organizado em Paris no ano de 1900, Hilbert apresentou uma contribuição intitulada *Problemas Matemáticos* (talvez a comunicação mais célebre que se fez até hoje em qualquer congresso internacional de Matemática, segundo a opinião da maioria dos historiadores contemporâneos desta disciplina). Foram vinte e três os problemas formulados por Hilbert e constituíram de facto uma antevisão do que viria a ser o desenvolvimento da Matemática no século XX. No segundo problema colocado, Hilbert preocupou-se com a questão da consistência de uma axiomática: como se poderia provar que um número determinado de passos lógicos, derivados de um conjunto de axiomas, nunca conduziria a resultados contraditórios? Este problema sintetiza uma das importantes preocupações das matemáticas do século XX: toda a matemática se pode extrair de um conjunto restrito de princípios lógicos. Russell e Whitehead, professores em Cambridge, empreenderam um vigoroso e grandioso programa de construção de toda a matemática a partir da lógica, expondo-o ao longo de três volumes, publicados entre 1910 e 1913, da obra *Principia Mathematica*. É um programa com uma grande ênfase na linguagem própria desta disciplina.

O contraste entre a primeira grande síntese da Física, o newtonianismo, e a segunda grande síntese, a electromagnética, era notável: a primeira assentava num espaço e tempo absolutos e na acção instantânea à distância entre corpos; a segunda renegava a interacção instantânea, o que implicava a não aceitação do espaço e tempo absolutos. Não admira, portanto, que a reformulação da mecânica newtoniana tenha estado na mira de alguns dos grandes físicos do século XIX, tal como foram os casos de Helmholtz, Kirchhoff, Hertz, Mach, Boltzmann e Poincaré. Deve-se a Mach a crítica epistemológica mais radical à mecânica clássica e terá sido este físico-filósofo que melhor pôs em evidência as debilidades do edifício newtoniano<sup>2</sup>. O electromagnetismo

---

<sup>2</sup> Mach, Ernst (1883). *Die Mechanik in Ihrer Entwicklung Historisch-Kritisch Dargestellt*. Leipzig: F. A. Brockhaus. Em português o título da obra é «A Mecânica, o relato crítico e histórico do seu desenvolvimento». Em vida do autor esta obra foi editada sete vezes, em 1883, 1888, 1897, 1901, 1904, 1908 e 1912; a oitava e nona edições em língua alemã datam de 1921 e 1933. A primeira edição em

forneceu os meios científicos, enquanto que a crítica macheana à mecânica clássica forneceu os fundamentos filosóficos, à grande ruptura que viria a consumir-se no edifício da Física, no princípio do século XX, com o aparecimento da teoria da relatividade.

Foi o uso da mecânica estatística no estudo termodinâmico da radiação do corpo negro que forneceu as armas para derrotar o segundo ponto crítico na Física no final do século XIX. As curvas experimentais da emissão da energia radiante do corpo, em função da sua temperatura e do comprimento de onda da radiação, não eram explicadas pelas fórmulas teoricamente deduzidas por, respectivamente, Wien e Rayleigh. Utilizando o formalismo de Boltzmann e avançando com a proposta revolucionária de que a energia varia de uma forma discreta, sendo o seu valor mais simples o *quantum* de energia, Planck resolveu a contradição entre a teoria e os valores experimentais. Era a hipótese dos *quanta*, uma hipótese que se viria a revelar decisiva em toda a construção teórica da Física do século XX.

Numa conferência em 1900, com o propósito de fazer o balanço de um século de investigação e intitulada «Nineteenth century clouds over the dynamical theory of heat and light»<sup>3</sup>, Lord Kelvin apontou para dois problemas, as duas nuvens, com que se debatia a concepção mecânica da natureza: o fracasso da explicação do movimento da Terra através do éter, ou a determinação do referencial inercial privilegiado, e as dificuldades colocadas pelo princípio da equipartição da energia na construção de modelos moleculares, ou a formulação da teoria da radiação do corpo negro. Duas nuvens que se viriam a revelar como a origem de duas fortíssimas tempestades que abalariam toda a Física do século XIX, dando origem à grande revolução científica que se inicia no dealbar do século XX.

### **1.3 A filosofia da ciência na mudança de século: Mach, Poincaré e Duhem**

O progresso científico no século XIX, o aparecimento de novas teorias científicas, afectou profundamente o pensamento filosófico que lhe era contemporâneo. Problemas como a origem do homem, o livre arbítrio, a imagem da natureza ou, até mesmo, a ideia de verdade fizeram com que muitos filósofos, mesmo aqueles que se encontravam mais

---

língua inglesa data de 1893 e corresponde à edição por nós utilizada (Mach, 1974a). Não existe nenhuma edição em língua portuguesa.

<sup>3</sup> «As nuvens novecentistas que pairam sobre a teoria dinâmica do calor e da luz» (*in* Harman, 1982: 149).

distanciados da mentalidade e das preocupações da investigação científica, se preocupassem bastante com o desenvolvimento da ciência e todas as suas implicações nas várias esferas do pensamento. Foi no século XIX que surgiu o positivismo, doutrina filosófica caracterizada por um optimismo geral nascido da certeza de que o progresso científico-tecnológico era imparável e que desembocaria inevitavelmente numa sociedade de bem-estar generalizado. No positivismo poder-se-ão destacar como traços marcantes: primeiro, a aplicação do método das ciências da natureza também ao estudo da sociedade; segundo, a afirmação de que o método científico é uno, atribuindo-lhe o estatuto do único instrumento capaz de atingir o conhecimento; terceiro, a exaltação da ciência enquanto único meio capaz de solucionar ao longo do tempo todos os problemas humanos e sociais. O positivismo, no seu combate às concepções idealistas e espiritualistas da natureza, afirmava-se antimetafísico, no entanto a radicalização do seu discurso obrigá-lo-ia também a cair numa postura metafísica e dogmática.

A filosofia das ciências é, no final do século XIX e princípios do século XX, a herdeira histórica do positivismo oitocentista, distinguindo-se desta corrente filosófica pela sua visão crítica da própria ciência e pelo esforço em determinar os limites da validade desta. A filosofia da ciência demarcar-se-á do positivismo metafísico, começando por exercer uma crítica baseada na própria evolução histórica da ciência; dos seus próprios problemas, a ciência passou a interrogar-se sobre o seu método, a natureza deste e os próprios limites do conhecimento científico. Estas são algumas das questões que foram pela primeira vez tratadas pelos filósofos da ciência, filósofos que assumem uma característica peculiar: são compelidos à conjectura filosófica pelo seu labor científico ou, de uma forma mais prosaica, o seu recrutamento enquanto filósofos é feito no seio das fileiras científicas.

Avultam, nesta transição de século, três personagens que, pela sua investigação científica e reflexão filosófica, podem ser consideradas como os principais mentores da filosofia da ciência no século XX; são eles: Ernst Mach<sup>4</sup> (1838-1916), Henri Poincaré<sup>5</sup> (1854-1912) e Pierre Duhem<sup>6</sup> (1861-1916).

O pensamento filosófico de **Ernst Mach** assenta em três pilares: o darwinismo científico, o princípio da economia de pensamento e a purga dos elementos metafísicos

---

<sup>4</sup> Foi professor de Física em Graz e Praga e, mais tarde, de Filosofia em Viena.

<sup>5</sup> Formado em Engenheiro na École des Mines, foi professor nas Universidades de Caen e Paris.

<sup>6</sup> Formado em Ciências pela École Normale Supérieure, foi professor em Lille, Rennes e Bordéus.

da Física. Mach possui uma noção «biológica» do conhecimento: o conhecimento é uma adaptação progressiva aos factos da experiência, uma adaptação imposta por necessidades biológicas. Como ele próprio afirmou, «as ideias científicas transformam-se e adaptam-se do mesmo modo que Darwin assumiu para o caso dos organismos vivos» (Mach, 1974b: 350); é neste sentido, enquanto generalização a todo o campo da ciência, que se deve entender a noção de darwinismo científico. O princípio da economia de pensamento corresponde à ideia seguinte: os conceitos científicos, as leis, as teorias devem ser entendidas como uma forma de economizar o trabalho intelectual de tal modo que a experiência adquirida fique registada, podendo ser transmitida através de uma teoria formulada matematicamente. É este princípio geral que se constitui como trincheira contra os pretensos avanços das especulações ou, por outras palavras, das pretensas teorias científicas sem uma base empírica sólida. Este princípio é arvorado como o único critério para determinar a validade dos conceitos, separando-os entre científicos e metafísicos. Segundo o princípio da economia de pensamento, uma boa teoria científica é aquela que permite a classificação e previsão dos fenómenos sem o recurso a um excessivo número de ideias sem correspondência com o que é observado pelos sentidos, a lei científica corresponde a um enunciado económico, formulado na linguagem matemática (a mais económica e geral), dos resultados experimentais<sup>7</sup>. Na purga dos elementos metafísicos, Mach efectuou uma revisão importante dos fundamentos da mecânica e elaborou um corpo de princípios que conduzissem esta disciplina à pureza antimetafísica. Da necessidade de quatro conceitos fundamentais (espaço, tempo, massa e força) na formulação newtoniana, a mecânica clássica passa a precisar somente de dois conceitos essenciais: espaço e tempo.

Mach é um dos primeiros físicos a sustentar os seus pontos de vista filosóficos em relação à Física num estudo cuidado da evolução histórica dos seus conceitos. Uma preocupação que não tocava particularmente o matemático e físico francês **Henri Poincaré**, autor de uma obra vasta e muito importante nestas duas ciências, e que também se sentiu atraído pela teoria do conhecimento científico<sup>8</sup>. Enquanto físico-

---

<sup>7</sup> Por este motivo a hipótese atomista, supondo o átomo como entidade real, constitui uma teoria física muito complicada. Além disso um átomo nunca se observara, o que implicava a impossibilidade da sua comprovação experimental, logo esta teoria não teria sentido. Este princípio não se preocupa com a constituição da natureza nem com a explicação causal dos fenómenos observados.

<sup>8</sup> Autor, neste domínio, das obras seguintes: (1902) *La Science et l'Hypothèse*, (1905) *La Valeur de la Science* e (1908) *Science et Méthode*.

matemático, Poincaré é especialmente inspirado por toda a problemática das novas geometrias; a correcção das suas construções teóricas conduzia à pergunta: o espaço físico possui uma estrutura euclidiana ou não euclidiana? Para ele a resposta não estava na natureza dos axiomas formulados, eles não constituíam nem juízos sintéticos *a priori* nem factos experimentais, deveriam ser entendidos como convenções, livremente assumidas, desde que não contraditórias, escolhidas mediante as necessidades ou as observações experimentais. Não há uma geometria mais verdadeira que outra. Para Poincaré existem na ciência elementos «convencionais», todavia ela própria não tem um carácter convencional, pois a sua capacidade de previsão confere-lhe uma natureza objectiva. Objectividade que radica no facto de a ciência traduzir uma realidade comum a todos os homens, exprimindo-a através de um sistema de relações que são as leis científicas. Estas leis são submetidas ao controle empírico, a experiência é a única fonte de «verdade». Para o físico e matemático francês, renunciar a uma hipótese não era nada de dramático, bem pelo contrário, correspondia à ocasião inesperada de poder vir a efectuar uma descoberta. O convencionalismo defendido por Poincaré radica nas suas reflexões sobre o mundo físico e a natureza das leis da Física. A sua apreciação sobre todo edifício da Matemática construído ao longo do último século, levou-o a aceitar todo o programa de aritmetização, mas a levantar algumas dúvidas sobre a redução da aritmética à teoria dos conjuntos e à axiomática de Peano. Para Poincaré «os números naturais constituíam uma noção intuitiva fundamental» (Dieudonné, 1981: 60) que deveria ser entendida como o ponto de partida, não estando, portanto, sujeitos a fundamentações subsequentes.

Em **Pierre Duhem** encontram-se traços comuns aos dois filósofos anteriores<sup>9</sup>. Partidário do convencionalismo, tal como Poincaré, defendia que uma teoria física era um sistema de proposições matemáticas, deduzidas de um número restrito de princípios com o objectivo de representar observações experimentais. Todavia esta teoria deveria estar sujeita, tal como Mach defendia, ao princípio da economia intelectual. A teoria seria tanto mais potente quanto mais numerosas fossem as leis que dela se pudessem derivar. Duhem descreveu as quatro operações sucessivas que permitiam construir uma teoria física (Duhem, 1981: 26): (1) escolha das propriedades físicas simples e dos símbolos das grandezas que as representam; (2) elaboração das hipóteses que podem ser

---

<sup>9</sup> No domínio da Filosofia da Ciência a sua obra fundamental foi publicada em 1907 (Duhem 1981).

formuladas de forma arbitrária, não podendo esta arbitrariedade ser consentida perante a contradição lógica entre os termos duma mesma hipótese; (3) desenvolvimento da teoria segundo as regras da análise matemática; (4) verificação experimental.

Partilhou, com Mach e Ostwald, as ideias sobre o energetismo, rejeitando a concepção mecanicista da Física e manifestando o seu cepticismo sobre a realidade de certas entidades físicas, opondo-se de um modo decidido ao atomismo. Um ponto muito importante do pensamento de Duhem reside na negação da possibilidade de existência das *experimenta crucium* que levassem à escolha alternativa entre uma hipótese falsa e uma hipótese verdadeira. Para este físico e filósofo francês não existia uma experiência que permitisse decidir claramente entre teorias verdadeiras e falsas.

É a Pierre Duhem que se deve um grande impulso à história da física, uma história radicada na procura de um nexó lógico para a progressão dos conceitos físicos. Foram fundamentais para a história e filosofia da ciência os seus trabalhos sobre as contribuições científicas no período medieval<sup>10</sup>, mostrando-as como precursoras da revolução científica do século XVII. É também a Duhem que se deve o ter feito sair da obscuridade as contribuições de Mersenne e Malebranche.

#### 1.4 Referências Bibliográficas

Boyer, C. and Merzbach, U. C. (1989). *A History of Mathematics*. New York: John Wiley & Sons.

Dieudonné, Jean (1981). Poincaré. In C. C. Gillespie (ed.), *Dictionary of Scientific Biographies*, vol 11. New York: Charles Scribner's sons, 51-61.

Duhem, Pierre (1981). *La théorie Physique, son object et sa structure*. Paris: Vrin.

Mach, Ernst (1974b). *Principles of the Theory of Heat - Historically and Critically Elucidated*. Dordrecht: D.Reidel Pub.Comp. (Brian McGuinness (ed.)).

Maxwell, James C. (1954). *A Treatise on Electricity and Magnetism*, vol.2. New York: Dover Publications.

---

<sup>10</sup> As suas obras principais são: (1903) *L'évolution de la mécanique*, (1905-1906) *Les origines de la statique* (2vols), (1906-1909-1913) *Études sur Leonard da Vinci* (3vols), *Le système du monde . Histoire des doctrines cosmologiques de Platon à Copernic* (10 vols) (só os primeiros quatro volumes foram publicados em vida do autor).

## Uma Controvérsia na História da Física<sup>1</sup>

### Introdução

1. Pegue-se num exemplo retirado, não propriamente ao acaso, da obra escrita por Galileu Galilei e publicada em 1632, *Diálogo sobre os dois sistemas máximos do mundo*, «*Salviati [em resposta a Simplicio]: Não vos preocupais com o Céu nem com a Terra, não temais a sua subversão, nem tão pouco a da filosofia. Pois, quanto ao Céu, é em vão que receais qualquer coisa que possa vir daquilo mesmo que vós considerais inalterável e impassível; quanto à Terra, nós procuramos nobilitá-la e torná-la mais perfeita, na medida em que nos esforçamos por a tornar semelhante aos corpos celestes e pô-la até no Céu, de onde os vossos filósofos a expulsaram. E a própria filosofia só pode receber um benefício das nossas disputas porque, se os nossos pensamentos são verdadeiros, novas aquisições se obterão; se forem falsos, ao refutá-los maiormente se confirmarão as antigas doutrinas*»<sup>2</sup>. É no espírito de polémica e de controvérsia que Galileu Galilei concebe as suas duas obras mais conhecidas, *Os Discursos* e *Os Diálogos*. Todas as ideias são expostas perante o confronto dialógico de três personagens: Salviatti, nobre florentino grande amigo de Galileu, que, em ambas as obras, é o alter ego do autor; Simplicio, não se sabe se, com esta personagem, Galileu pretendeu dar voz a algum seu contemporâneo, representando o defensor das ideias passadas ou aristotélicas; Sagredo, veneziano ilustre e grande amigo do autor a quem várias vezes aconselhou prudência e que, não admira, é instruído na difícil posição de moderar o debate. Essa atitude de disputa, de confronto de ideias, animou permanentemente Galileu e é sob a influência de uma polémica com os jesuítas, em torno da natureza dos Cometas, que publica em 1623 uma obra, *O Ensaiador*, que, segundo Pietro Redondi<sup>3</sup>, é a grande peça de acusação, jamais nomeada e sempre oculta, perante o Tribunal do Santo Ofício. Deste espírito fogo e arguto, quicá polemista por temperamento, saíram os fundamentos da Ciência moderna. Da disputa a que Galileu submeteu as suas ideias, abateram-se dogmas e surgiram novas teorias.

Desde Galileu até ao presente construiu-se o complexo, belo, e nem sempre compreensível, edifício da Ciência; o entendimento, a compreensão das regras internas desta construção é, actualmente, um dos objectivos mais apetezados de filósofos e cientistas

---

<sup>1</sup> Fitas, Augusto J. S. (1993). Uma Controvérsia na História da Física, *VÉRTICE*, 56: 49-71.

<sup>2</sup> Galilei, Galileu (1984). *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo, tolomaico e copernicano*, (A cura di Libero Sosio). Torino: Giulio Einaudi Editore, 47.

<sup>3</sup> Redondi, P. (1989). *Galileo: Heretic*. London: Penguin Books.

que concorrem entre si com várias teorias, visando explicar a construção científica e que constituem diferentes formas de entender o desenvolvimento do conhecimento científico.

Para Popper toda a boa teoria científica é aquela que melhor resiste ao teste da falsificabilidade, o que implicitamente implica a sua sujeição permanente a uma prova contrária; para Kuhn não há boas teorias, mas modelos teóricos perfeitamente transitivos, sujeitos ao ataque de novas teorias que se impõem pela descontinuidade, através das revoluções científicas; enquanto que para Lakatos o progresso científico é a disputa permanente entre Programas de Investigação Científica que coexistem e onde um terá que vencer; já para Feyerabend, na sua teoria anarquista do conhecimento, não há lógica na disputa entre as teorias rivais, nem tão pouco a Ciência é superior às outras formas de conhecimento. Existiriam ainda outros autores que deveriam ser citados, mas não é necessário. Uma ideia é comum: o progresso científico é feito à custa da disputa e da controvérsia. Está assim justificada a motivação deste trabalho o estudo de uma controvérsia!

**2.** A correspondência entre Clarke e Leibnitz é a controvérsia mais frequentemente referida de todas as disputas filosóficas no séc. XVIII. Para os seus contemporâneos ela representou o grande combate entre os princípios matemáticos da filosofia natural e os princípios metafísicos da filosofia.

Embora esta polémica se situe nos anos de 1715-16, é necessário entender que o seu pano de fundo remontava à disputa travada entre Newton e Leibnitz sobre a prioridade na descoberta do cálculo diferencial. Em 1705 ambos se envolveram numa polémica bastante azeda, tendo Newton permanecido na sombra e utilizando como contendor os serviços de um seu amigo, Keill. Para além desta prioridade de patente científica, é também conhecido que Leibnitz já manifestara, em diversos escritos, profundas discordâncias sobre o conceito de força à distância utilizado por Newton na força gravítica, enquanto causa explicadora do movimento planetário.

O estudo que se desenvolverá tem como objectivo crucial a análise da argumentação de ambas as partes em torno de algumas questões centrais de filosofia natural, no sentido de melhor entender a génese de alguns conceitos fundamentais da Física. Outros ângulos de abordagem são possíveis e de consequências bastante interessantes, como é o caso do ensaio cujo propósito, na pena do autor, é o estudo do *«jogo*



*contraditório das argumentações*»<sup>4</sup>, servindo para «*ilustrar alguns traços característicos das controvérsias em geral*»<sup>5</sup>.

Mergulhar na argumentação de Leibnitz-Clarke em torno de questões como o espaço, o tempo, a conservação, o vazio, implica necessariamente o entendimento da correlação destes conceitos com os princípios da metafísica. Para qualquer cientista no séc. XVIII era ponto assente a existência de um ente superior, criador e senhor do universo, artífice e guardião de toda a ordem universal, de tal forma que a atitude do investigador era descobrir as leis em conformidade com as quais esse ser teria criado a natureza. Não é portanto de estranhar toda a linguagem metafísica e teológica de que estão impregnadas as dez cartas da polémica.

O motivo próximo do desencadear desta polémica residiu numa passagem da Óptica de Newton onde escreveu que Deus «*estando em todos os lugares, é capaz, pela sua vontade, de movimentar todos os corpos dentro dos seus infinitos e uniformes sensorium*»<sup>6</sup>. Esta passagem é comentada numa carta dirigida por Leibnitz à Princesa Carolina e que constitui a primeira peça desta controvérsia.

### A Controvérsia Clarke-Leibnitz

**3.** Leibnitz (primeira carta). Esta carta é curta e contem somente quatro Artigos.

Nos dois primeiros Artigos Leibnitz insinua que o materialismo se vai apossando de alguns filósofos ingleses, referenciando, em particular, Locke.

No artº 3 visa directamente Newton: «*Sir Isaac Newton afirma que o espaço é um órgão do qual Deus faz uso para percepção das coisas, mas se Deus precisa de um órgão para percepção das coisas, isto implica que elas não dependem de si, nem foram produzidas por ele*»<sup>7</sup>. O espaço é questionado teologicamente como um dos atributos de Deus. É em torno do significado da expressão newtoniana sensorium de Deus que se inicia a polémica. Este problema vai estar presente ao longo de toda a correspondência, assumindo progressivamente um papel secundário em todo o debate, dando lugar à discussão sobre os fundamentos do conceito de espaço e tempo absolutos.

Leibnitz não se confina ao problema anterior e, como os seus pontos de discórdia em relação a Newton são vários e profundos, prossegue no artº 4 interrogando-se sobre a

---

<sup>4</sup> Gil, F. (1986). *Provas*. Lisboa: Imprensa Nacional-Casa da Moeda, 173.

<sup>5</sup> Ibid.

<sup>6</sup> Alexander, H.G. (ed.) (1976). *The Leibnitz-Clarke correspondence*. N.Y.:Manchester University Press, Appendix A, 181.

<sup>7</sup> (Ibid.: 11).

estranha opinião que Sir Isaac e os seus prosélitos têm acerca do papel da intervenção de Deus na natureza: «*De acordo com a sua doutrina [de Sir Isaac] Deus todo poderoso terá que, de tempos em tempos, dar corda ao seu relógio, caso contrário este deixar-se-á de mover*»<sup>8</sup>. Leibnitz queda-se incrédulo com esta incapacidade de atribuir a Deus a capacidade de gerar o movimento permanente, pois «*de acordo com estes senhores o mecanismo criado por Deus é tão imperfeito*»<sup>9</sup> como o de qualquer relógio saído das mãos do mais humano dos artesãos. Leibnitz, no sentido de fundamentar esta sua incredulidade, sustenta a opinião de que «*a mesma força e vigor sempre existiram no mundo, transferindo-se unicamente de uma parte para outra da matéria, felizmente para as leis da natureza e para a magnífica ordem pré-estabelecida*»<sup>10</sup>. Precisando, a finalizar este Artigo, que quando Deus opera milagres, não o faz no sentido de suprir as necessidades da natureza, mas as da graça. Para Leibnitz não é através dos milagres que Deus acciona o mecanismo da Natureza. A intervenção de Deus no movimento de toda a engrenagem que foi concebida e criada por si, o estabelecimento de um princípio geral explicador de todo o movimento, constitui o segundo ponto base de toda a polémica. É importante sublinhar uma ideia patente na argumentação leibnitziana, e que estará presente em todas as peças da polémica, a necessidade da conservação da força e vigor. Sem grande rigor interpretativo e exegético esta expressão pode entender-se como o princípio da conservação da vis viva. Se o problema do espaço absoluto é a grande questão polémica que a troca de correspondência se vai encarregar de fazer surgir, a existência de um princípio de conservação revelar-se-á um outro ponto de divergência e, como tal, merecedor de muitas linhas ao longo de toda a troca de cartas.

4. Clarke (primeira réplica). Clarke replica com uma carta também em quatro artigos, respondendo em cada um deles às objecções apontadas nos artigos homónimos de Leibnitz.

Retorquindo ao primeiro artigo de Leibnitz, Clarke invoca os princípios matemáticos da filosofia como sendo perfeitamente repugnantes à filosofia dos materialistas, deixando passar a mensagem de que as ideias newtonianas assentam claramente na aplicação destes princípios à filosofia natural. Deste modo rejeita a acusação que lhe fora endereçada por Leibnitz. Reforça esta rejeição sublinhando que estes princípios matemáticos «*e só eles provam que a matéria e os corpos constituem a parte mais pequena e*

<sup>8</sup> (Ibid.:11)

<sup>9</sup> (Ibid.:11).

<sup>10</sup> (Ibid.:12).

*inconsiderável do universo*»<sup>11</sup>. Esta afirmação vai obrigar, como se verá na réplica seguinte de Leibnitz, a que a discussão também se debruce sobre um outro problema de filosofia natural: a existência de vazio.

No artº 3 o autor contesta a frase de Leibnitz, «*o espaço é o órgão de Deus para a percepção das coisas*»<sup>12</sup>, afirmando que não é esta a ideia que Newton pretende transmitir, negando, portanto, «*que Deus tenha necessidade de qualquer meio para perceber as coisas; bem pelo contrário, sendo onnipresente, percebe as coisas pela sua própria presença, em qualquer ponto do espaço onde se encontrem, sem a intervenção de qualquer órgão ou meio, qualquer que seja*»<sup>13</sup>. Acrescenta que a intenção de Newton era apresentar uma analogia para tornar mais claro o conceito exposto, «*tal como o pensamento humano, através do aparecimento imediato de figuras e de imagens das coisas, formadas no seu cérebro através dos órgãos dos sentidos, vê essas figuras como se fossem os próprios objectos; também Deus percebe as coisas através da sua própria presença perante elas(...)* E no universo ele não vê as coisas como se fossem figuras, mas como objectos reais feitos pelo próprio Deus, em qualquer lugar onde se encontrem, sem a intervenção de qualquer meio»<sup>14</sup>. A imagem apresentada corresponde à ilustração do conceito de espaço infinito como sendo o sensorium, órgão dos sentidos, do ser onnipresente e que Robert Clarke justifica como uma imagem baseada na teoria da percepção do homem.

No artigo seguinte, artº 4, Clarke responde aos reparos de Leibnitz sobre o carácter da intervenção de Deus no movimento desse mecanismo complexo que é a natureza. Se no que diz respeito ao engenho do artífice, ele «*consiste em compor, ajustar, juntar certos movimentos, cujos causadores são independentes do artesão, tais como pesos, molas, ou similares*»<sup>15</sup>, já no que concerne a Deus a situação é diferente, «*ele não só compõe ou junta os objectos, mas é ele próprio o autor e continuo vigilante das forças originais e da sua capacidade de movimentos*»<sup>16</sup>; concluindo que esta é a sua, de Deus, glória de artífice, pois «*nada é feito sem o seu continuo governo e inspecção*»<sup>17</sup>. O discípulo de Newton devolve a Leibnitz, de uma forma bastante arguta, a acusação de materialista, escrevendo: «*a noção de que o mundo é uma grande máquina que marcha sem a intervenção de Deus, tal como o mecanismo do relógio se movimenta sem a assistência do relojoeiro, corresponde à noção de materialismo e destina-se, tende (sob a pretensão de fazer de Deus a inteligência*

<sup>11</sup> (Ibid.:12).

<sup>12</sup> (Ibid.:12).

<sup>13</sup> (Ibid.:13).

<sup>14</sup> (Ibid.:13).

<sup>15</sup> (Ibid.:13)..

<sup>16</sup> (Ibid.:14)..

<sup>17</sup> (Ibid.:14).

*supra-mundane*) na realidade a excluir a providência e o governo de Deus da natureza»<sup>18</sup>. Sem se referir à invariância da força e vigor, referidos na carta anterior, está aqui exposto a sua não aceitação de um qualquer princípio de conservação como causa explicadora do movimento no universo. Clarke implicitamente defende a existência de forças originais responsáveis pelo movimento, sem se preocupar com a explicação da origem dessas mesmas forças.

5. Leibnitz (segunda carta). Na primeira réplica de Leibnitz a Clarke os quatro artigos anteriores são desenvolvidos em doze, alargando-se os pontos controversos da polémica. Os dois problemas iniciais, o sensorium e a inteligência *supra-mundane*, vão suscitar «o núcleo duro da controvérsia: a natureza do espaço»<sup>19</sup>, desenvolvendo-se a maior parte dos argumentos em torno de dois princípios metafísicos fundamentais: o Princípio da Razão Suficiente e o Princípio da Identidade dos Indiscerníveis. A partir de agora o próprio evoluir da controvérsia, embora de uma forma paralela, levantará outros pontos polémicos em relação a diversos conceitos empregues na filosofia natural, e.g., átomos, vazio, atracção gravítica...

No artº 1, Leibnitz lança o princípio base de toda a sua argumentação futura, o Princípio da Razão Suficiente, «o grande fundamento da matemática reside no princípio da contradição, ou identidade, isto é, uma proposição não pode ser verdadeira e falsa ao mesmo tempo (...) para passar da matemática para a filosofia natural, um outro princípio é requerido (...) o princípio da razão suficiente, isto é, nada acontece sem uma razão para que deva ser assim e não de outro modo»<sup>20</sup>. É a sustentação de que qualquer tese de filosofia natural não pode basear-se exclusivamente nos princípios matemáticos, sob pretexto de se assumir uma posição materialista. Leibnitz filosoficamente reendossa para Clarke, ou Newton, o epíteto de materialista...

No artigo seguinte, Leibnitz, sem desenvolver qualquer argumentação com base na filosofia natural, manifesta-se contra a existência de espaço vazio entre a matéria em todo o Universo, sendo peremptório «mantenho que não existe de todo o vácuo»<sup>21</sup>. Esgrime este argumento no sentido de mostrar a incongruência que resulta do uso de princípios matemáticos, em vez de princípios metafísicos, na compreensão da Natureza. Exibindo como seu único argumento que no Universo «quanto mais matéria existisse, maior seria a

---

<sup>18</sup> (Ibid.:14).

<sup>19</sup> (Gil, 1986: 179).

<sup>20</sup> (Alexander, 1976:15).

<sup>21</sup> (Ibid.: 16).

*possibilidade de deus exercer a sua sabedoria e o seu poder*<sup>22</sup>, logo não haveria necessidade de haver vazio.

No artº 3 dedicam-se quatro magras linhas ao problema inicial, o sensorium de Deus. Diz o filósofo alemão que encontrou esta expressão referida no Apêndice da Óptica de Newton e que lhe parece que este termo *«sempre significou órgão dos sentidos»*<sup>23</sup>, se Newton e o seus seguidores pretendem dar-lhe um outro significado, ele (Leibnitz) aceita-o. Quanto a este motivo de discussão, o significado etimológico de sensorium, ele irá perdendo importância, dando lugar à discussão dos conceitos que a própria polémica vai encarregando-se de suscitar.

No artº 4 Leibnitz refere-se ao espaço de Newton nos seguintes termos: *«Espaço, de acordo com Sir Isaac Newton, está intimamente presente no corpo que está nele contido, e é comensurável com ele. Donde se segue, portanto, que o espaço percepção o que se passa no corpo; e lembra-lo-á quando o corpo já se tiver ido?»*<sup>24</sup>. A argumentação leibnitziana conduz inevitavelmente à pergunta: terá sentido o espaço (Newtoniano) sem o corpo?

Os artigos 5 a 11 constituem um ataque aos pontos de vista de Clarke, expressos no artigo 4 da sua epístola anterior, sobre *«a intervenção de Deus e do homem na natureza»*<sup>25</sup>, bem como sobre o papel desempenhado pela divindade no movimento de todo o Universo. Concluindo no artº 12: *«se Deus é obrigado a intervir no curso da natureza de tempos a tempos, deve fazê-lo supernaturalmente ou naturalmente. Se o fizer supernaturalmente recorre a milagres no sentido de explicar a ordem natural das coisas: o que recorrendo ad absurdum: tudo pode ser explicado por milagres. Mas se actuar naturalmente, Deus não seria a intelligentia supra-mundane: ele será compreendido como estando dentro da natureza das coisas, isto é será a alma do Universo»*<sup>26</sup>. Para Leibnitz deverá existir uma forma, um princípio explicativo e enformador segundo o qual Deus intervirá naturalmente na ordem do Universo.

Nesta segunda carta de Leibnitz o problema do espaço surge já de uma forma explícita, apto a entrar, como primeira figura, no palco do debate, surgindo também, embora nos bastidores, uma outra personagem secundária, o problema da existência de vazio!

---

<sup>22</sup> (Ibid.:16).

<sup>23</sup> (Ibid.:17).

<sup>24</sup> (Ibid.:17).

<sup>25</sup> (Ibid.:18).

<sup>26</sup> (Ibid.:20).

6. Clarke (segunda réplica). Clarke escreve a sua carta em doze artigos, onde em cada um deles responde às objecções apontadas nos artigos homónimos de Leibnitz. Esta será invariavelmente uma das características desta controvérsia: as réplicas de Clarke são constituídas, sempre pelo mesmo número de artigos da réplica anterior de Leibnitz; disciplinadamente, o discípulo de Newton procura rebater os novos pontos polémicos levantados pelo seu opositor. Se Leibnitz é o questionador, o homem que impiedosamente joga ao ataque, procurando desesperadamente atingir o adversário, Clarke limita-se, sem grandes rasgos, mas de forma eficiente, a organizar uma bem escalonada defesa perante as investidas do adversário, evitando claramente levantar novas questões. Clarke não ataca o sistema proposto por Leibnitz, defende ardorosamente a fortaleza de Newton, coíbe de lançar para a polémica novas achas que façam crepitar de uma forma mais viva o debate de ideias.

No artº 1 Clarke aceita o Princípio da Razão Suficiente apresentado por Leibnitz e, estribando-se nele, coloca o seguinte problema: *«porque é que um determinado sistema material foi criado numa posição particular, e outro em outra posição particular; quando (todas as posições seriam absolutamente indiferentes para qualquer sistema material), seria exactamente o mesmo vice-versa, supondo dois sistemas (ou partículas) materiais idênticos»*<sup>27</sup>, acabando por responder que a única razão para que isso aconteça *«é a vontade de Deus»*<sup>28</sup>. Sublinhe-se o termo indiferença, enquanto impossibilidade de escolher entre duas situações idênticas. Clarke defende deste modo que nem sempre a razão é suficiente para efectuar a escolha: há em determinadas situações a possibilidade de uma opção livre e não determinada por qualquer critério de racionalidade absoluto.

No artº 3, replica em 5 linhas (Leibnitz tinha escrito quatro) sobre a questão se o sensorium é ou não o órgão das sensações, reiterando a argumentação da carta anterior, e juntando: *«Sir Isaac Newton não diz que o espaço é o órgão das sensações, mas, somente de forma analógica, como se fosse o órgão das sensações»*<sup>29</sup>.

É no artigo 4, sobre a natureza indivisível da alma, que se afirma a natureza indivisível do espaço, finito ou infinito, recorrendo-se, em nota, a uma citação dos Principia. O objectivo é claramente refutar essa ideia de que o corpo possa estar fora do espaço ou, por outras palavras, o espaço está por todo o lado, mesmo onde não haja corpo.

---

<sup>27</sup> (Ibid.:20).

<sup>28</sup> (Ibid.:21).

<sup>29</sup> (Ibid.:21).

Eis uma ideia interessante da Física Newtoniana, o espaço absoluto existe para além dos próprios corpos, e que será fortemente contestada por Leibnitz.

Nos artigos 5 a 12, discutem-se os atributos de Deus, em particular a sua intervenção na Natureza, chamando-se à colação alguns argumentos de forte peso newtoniano: «*Provocar o Sol (ou a Terra) no sentido de se mover regularmente, é uma coisa que denominaremos de natural; parar este movimento por um dia, chamar-lhe-íamos supernaturab*»<sup>30</sup>. E esta naturalidade newtoniana da força central entre o Sol e os planetas, será o motivo para Leibnitz lançar algumas diatribes contra a força gravítica, chegando a afirmar que esta invenção de Sir Isaac constitui o paradigma da intervenção milagrosa de Deus na natureza.

7. Leibnitz (terceira réplica). A polémica aumenta em extensão, passando agora a desenvolver-se em dezassete artigos. Nesta carta o problema do espaço começa a destacar-se fortemente em relação a todos os assuntos de filosofia natural que estão sob disputa. A este problema são dedicados os artº 3, 4 e 5.

O início desta quinta peça, no conjunto de toda a polémica, inicia-se com um tom fortemente jocoso evidenciado pelo filósofo alemão ao afirmar que não basta o outro autor estar de acordo com o Princípio da Razão Suficiente, pois (art2) «*admitte-o em palavras, mas nega-o na realidade*»<sup>31</sup>. No artº 4 Leibnitz sublinha «*já disse mais do que uma vez que sustento que o espaço é qualquer coisa de relativo, tal como o tempo; sustento que ele é a medida da ordem de coexistência, tal como o tempo é a ordem da sucessão*»<sup>32</sup>. No artº 5 é lapidar, «*posuo muitas demonstrações para refutar a fantasia daqueles que tomam o espaço como uma substância, ou pelo menos, como um ser absoluto*»<sup>33</sup>, acrescentando que vai utilizar unicamente uma demonstração para provar a não existência deste ente. O princípio utilizado nesta demonstração baseia-se «*no carácter axiomático do Princípio da Razão suficiente*»<sup>34</sup>, os passos principais do seu raciocínio são os seguintes: (a) se, por hipótese, existe um espaço absoluto, «*qualquer coisa absolutamente uniforme e sem objectos colocados nele*»<sup>35</sup>, um espaço onde «*um seu ponto em nada difere de um outro ponto desse espaço*»<sup>36</sup>; então (b) «*deverá haver uma razão, pela qual Deus, preservando a distância entre os corpos, os colocou de uma determinada forma no espaço e não de outra forma*»<sup>37</sup>; mas (c) se tudo se

<sup>30</sup> (Ibid.:24).

<sup>31</sup> (Ibid.:25).

<sup>32</sup> (Ibid.:25).

<sup>33</sup> (Ibid.:26).

<sup>34</sup> (Gil, 1986: 181).

<sup>35</sup> (Alexander, 1976: 26).

<sup>36</sup> (Ibid.:26).

<sup>37</sup> (Ibid.:26).

colocasse doutra forma, «*trocando o Oriente com o Ocidente*»<sup>38</sup>, os dois estados «*seriam absolutamente indescerníveis*»<sup>39</sup>; logo (d) não haverá motivo «*para indagar qual a razão de preferência por uma ou outra*»<sup>40</sup> situação, o que contradiz o Princípio da Razão Suficiente; todavia (e) como este princípio é verdadeiro, então será falsa a hipótese donde partimos; finalmente, (f) a conclusão, não existe um espaço absoluto.

Deste modo Leibnitz refuta toda a argumentação sustentada por Clarke no artº 1 da carta anterior, mantendo a sua teoria relacional do espaço. No artº 6 defende a mesma teoria aplicada ao tempo. Se, anteriormente, carta precedente de Clarke, sublinhámos o termo indiferença, agora perante a mesma situação sublinhamos o termo indiscernível, tem sentido dizer-se «*doravante, a indescernibilidade ficará no centro do debate, como se representasse uma dramatização da indiferença... em vez da simples localização arbitrária de duas partículas, são-nos agora avançados dois estados do Universo*»<sup>41</sup>.

No artº 10, retoma-se, invocando obras de outros autores, o significado do termo sensorium.

O carácter da intervenção divina na natureza é objecto da atenção de Leibnitz no artº 13. A argumentação, no sentido de exemplificar o tipo de actuação divina, consiste, mais uma vez, em reafirmar a necessidade de invariância: «*se a força activa diminuir no universo, devido às leis naturais estabelecidas por Deus, assim ele deverá actuar no sentido de restaurar aquela força, tal como um artista burilando as imperfeições da sua obra, a desordem não está de acordo connosco, como não está de acordo com Deus. Ele deve tê-la evitado e tomado medidas para evitar tais inconveniências (...)*»<sup>42</sup>. Há aqui uma referência clara à ordem, à constância, a qualquer coisa que se tem que conservar, como forma de preservar a natureza do caos e da desordem. É uma referência implícita a um Princípio de Conservação que pela designação usada, força activa, vis viva, poderá ser tomado como o da Energia. Nos artigos seguintes prossegue a disputa sobre o carácter da intervenção divina na natureza, a diferença entre acção natural e sobrenatural, rematando-se a carta com uma referência à Teoria da Gravitação de Newton: «*Se Deus faz com que um corpo se mova livremente no éter em torno de um determinado centro fixo, sem que nenhuma outra criatura actue sobre ele; eu diria que isto não pode ser feito se não for um milagre, já que não pode ser explicado pela natureza dos corpos (...) mantenho que a atracção dos corpos, o que assim é chamado, é uma*

<sup>38</sup> (Ibid.:26).

<sup>39</sup> (Ibid.:26).

<sup>40</sup> (Ibid.:26).

<sup>41</sup> (Gil, 1986: 182).

<sup>42</sup> (Alexander, 1976: 29).



*coisa miraculosa, visto que não pode ser explicado pela natureza dos corpos»*<sup>43</sup>. Vai-se alargando o leque de pontos de discórdia entre os contendores, surgindo em toda a peça novas personagens que são velhas desavenças já dirimidas em outras polémicas.

**8.** Clarke (3réplica). O tom habitual da controvérsia vai manter-se: Robert Clarke responderá, artigo por artigo, a Leibnitz, mantendo a sua postura de invariável contenção verbal. As principais questões de filosofia natural em disputa já saltaram dos bastidores para a ribalta da polémica, são, no entanto, os pressupostos metafísicos que vão absorver as principais atenções dos polemistas.

Logo de início, no artº 2, Clarke reafirma o Princípio da Razão Suficiente, persistindo na admissão da situação de indiferença, mostrando que ela não contraria este princípio. *«Por sua vontade Deus pode criar ou colocar uma partícula num lugar em vez de noutro, embora as suas posições sejam iguais. E o caso é igual, mesmo que o espaço não fosse real, mas fosse unicamente uma relação de ordem entre os corpos: pois, ainda assim seria absolutamente indiferente, não podendo haver nenhuma outra razão, a não ser o mero desejo, pelo qual três partículas deverão ser colocadas segundo a ordem a, b e c em vez da ordem contrária. E, portanto, nenhuma argumentação pode ser retirada desta indiferença de todas as posições, para provar que o espaço não é real. Pois diferentes espaços são realmente diferentes ou distintos uns dos outros, embora sejam perfeitamente iguais»*<sup>44</sup>; Clarke conclui que da indiferença não é possível extrair a indescernibilidade Leibnitziana. Adiantando que *«há um absurdo evidente em supor que o espaço não é real e se reduz a uma mera ordem de posição dos corpos, pois (...) se a Terra, o Sol e a Lua forem colocados onde se situa a mais remota das estrelas (garantindo que são colocados na mesma ordem e à distância entre si em que agora se encontram) não seria de facto a mesma coisa»*<sup>45</sup>. Para Clarke as posições podem ser as mesmas, mas são numericamente distinguíveis, princípio negado por Leibnitz, de tal modo que colocar os corpos a, b e c segundo esta ordem, ou optando por ç b e a, é indiferente mas é distinguível. A necessidade de distinção exigirá um ponto de referência que garanta a execução desta operação.

No artº 3, Clarke, defendendo o espaço absoluto, define melhor os contornos deste conceito como *«uma propriedade, ou a consequência da existência de um ser infinito e eterno»*<sup>46</sup> onde *«espaço infinito é um, absolutamente e na essência indivisível»*<sup>47</sup>. O espaço terá que ser

<sup>43</sup> (Ibid.:30).

<sup>44</sup> (Ibid.:30).

<sup>45</sup> (Ibid.:31).

<sup>46</sup> (Ibid.:31).

<sup>47</sup> (Ibid.:31).

indivisível porque, caso contrário, a ser divisível ter-se-ia «*que o supor dividido e não dividido ao mesmo tempo*»<sup>48</sup>, o que seria uma contradição. E no artº 5 sublinha que a uniformidade do espaço mostra que não existe «*razão para que Deus tenha criado os objectos numa posição em vez de noutra*»<sup>49</sup>, concluindo interrogativamente: «*será que isto o impede de ter tido uma razão para os colocar ali e não noutro lado (...)?*»<sup>50</sup>. Esta interrogação condensa um dos resultados intermédios, porque a disputa ainda vai, sensivelmente, a meio caminho, mais importantes: a não aceitação por parte de Clarke da aplicação feita por Leibnitz do Princípio da Razão Suficiente.

No artº 4, opondo-se à ideia leibnitziana de ordem de coexistência e de ordem da sucessão, é declarado explicitamente «*espaço e tempo são quantidades, posição e ordem não são*»<sup>51</sup>. Esta afirmação corresponde a dizer que espaço e tempo precisam de uma referencia em relação ao qual toda a posição é medida e toda a ordem é cronometrada: é a necessidade de um referencial absoluto! Nesta fase da controvérsia já é possível definir as principais características newtonianas do espaço real: (a) uniformemente absoluto, conforme já o apresentara Leibnitz na carta anterior; (b) todas as suas posições, bem como os seus instantes, são distintas, conforme defende nesta carta Clarke; (c) as posições podem ser as mesmas, mas são numericamente distinguíveis porque os corpos são diferentes, tal como Clarke havia defendido no artº 2.

A discussão etimológica sobre o sensorium persiste e ocupa o artº 10. No artº 13 e 14, Clarke contraria a ideia de conservação das forças activas avançada por Leibnitz. Em primeiro lugar, assumindo esta expressão como equivalente a movimento ou impetus, Clarke declara que no universo este tipo de forças diminuem, para, em segundo lugar, concluir que este comportamento não representa nenhuma imperfeição, «*não há qualquer inconveniência, à desordem e à imperfeição na execução do artífice do universo (...) é uma consequência da natureza dos corpos dependentes*»<sup>52</sup>. Clarke não aceita um princípio da invariância.

Tal como Leibnitz rematou a sua carta anterior com uma referência à Teoria da Gravitação, também Clarke finaliza esta carta reafirmando esta teoria como lei natural que explica o movimento dos planetas em torno do Sol, recusando o epíteto de coisa milagrosa.

<sup>48</sup> (Ibid.:31).

<sup>49</sup> (Ibid.:32).

<sup>50</sup> (Ibid.:32).

<sup>51</sup> (Ibid.:32).

<sup>52</sup> (Ibid.:34).

9. Leibnitz (quarta réplica). O número de artigos cresce até ao 46, juntando-se-lhe ainda um Postscript. Esta carta inicia-se com Leibnitz sustentando que perante a indiferença absoluta não pode haver escolha, já que, por definição, *«a escolha tem que ser fundamentada numa razão, ou princípio»*<sup>53</sup>, logo (art3) *«é indiferente colocar 3 corpos iguais e perfeitamente idênticos em qualquer ordem»*<sup>54</sup>, pois Deus jamais os colocaria numa ordem qualquer porque age sempre com sabedoria e com uma razão. Leibnitz sublinha, como núcleo central da sua argumentação, o Princípio da Razão Suficiente, e aplica-se na contestação às teses newtonianas. A partir desta carta o debate em torno da filosofia natural assume uma maior relevância.

No artº 4, recusando admitir que na natureza há corpos idênticos, escreve *«não existem dois objectos indescerníveis entre si (...) duas gotas de água ou de leite vistas ao microscópio serão discerníveis. Este é um dos argumentos contra os átomos (...) bem como contra o vácuo (...)»*<sup>55</sup>. Os alvos newtonianos da crítica leibnitziana começam a estar mais claros e nos artigos seguintes o conceito de espaço defendido por Clarke-Newton vai estar sujeito a fogo cerrado.

Entretanto, numa afirmação de princípio, escreve no seu artº 5: *«os grandes princípios da razão suficiente e da identidade dos indescerníveis alteraram o estado da metafísica; esta ciência tornou-se real e demonstrativa através deles, quando, anteriormente, o seu conteúdo eram palavras vazias»*<sup>56</sup>.

Leibnitz vai procurar demolir a concepção newtoniana do espaço absoluto e infinito, provando que o *«espaço vazio é uma coisa imaginária»*<sup>57</sup> (artº7). No artº 8, perante a conjectura *«se o espaço é uma propriedade ou atributo, deve ser a propriedade de uma substância»*<sup>58</sup>, relembre-se a afirmação deste tipo feita por Clarke no artº 3 da carta anterior, interroga-se sobre qual a substância, preenchida pelo vazio, que possuirá esse atributo. No artº 9 invocando a ideia *«se o espaço infinito é a imensidade, o espaço finito será o oposto»*<sup>59</sup>, deverá ser, portanto, *«mensurável, limitado em extensão»*<sup>60</sup>. Leibnitz, perante a existência do espaço que é vazio, possuindo uma qualidade sem sujeito e sendo-lhe atribuída uma dimensão sem ter nada no seu interior a que possa estar afectada essa grandeza, conclui que, se o espaço é absoluto, ele não deveria ser a propriedade de nada, deveria ter uma realidade superior às próprias substâncias, isto é *«Deus não o poderia destruir nem modificar, seria não só imerso, como*

<sup>53</sup> (Ibid.:36).

<sup>54</sup> (Ibid.:36).

<sup>55</sup> (Ibid.:36).

<sup>56</sup> (Ibid.:37).

<sup>57</sup> (Ibid.:37).

<sup>58</sup> (Ibid.:37).

<sup>59</sup> (Ibid.:37).

<sup>60</sup> (Ibid.:37).

*também imutável e eterno em todas as suas partes*»<sup>61</sup> (artº10). Desta última oração Leibnitz retira o argumento teológico «*existirão portanto uma infinidade de coisas eternas além de Deus*»<sup>62</sup>.

No artº 11, Leibnitz insurge-se contra a ideia de que o espaço infinito é indivisível, escrevendo «*dizer que o espaço infinito não tem partes, é dizer que não é constituído por espaços finitos; e que o espaço infinito pode subsistir, embora todos os espaços finitos se reduzam a nada*»<sup>63</sup>, concluindo-se que os corpos que neles estão mergulhados não teriam dimensões, o que seria uma contradição manifesta.

Os dois parágrafos anteriores resumem os argumentos de Leibnitz contra os newtonianos e ambos conduzem a fortes contradições teológicas, aparentemente insuperáveis, mas que merecerão de Clarke uma contra-argumentação ao nível dos pressupostos filosóficos.

No artº 13 Leibnitz é peremptório «*dois estados indescerníveis correspondem ao mesmo estado*»<sup>64</sup>, para no artº 18 recusar a indiferença: «*O espaço ser uniforme faz com que não haja uma razão interna ou externa para distinguir as suas partes e para fazer uma escolha entre elas. Pois, uma razão externa para as discernir só se pode basear numa razão interna. De outro modo deveríamos discernir o que é indiscernível, ou escolher sem discernir*»<sup>65</sup>; não há estados de indiferença, não se pode escolher sem uma razão. No artº 41 reafirma a sua teoria relacional do espaço «*O autor afirma que o espaço não depende da posição dos corpos. Eu respondo: é verdade, não depende desta ou daquela posição dos corpos; mas é essa ordem que torna os corpos capazes de serem localizados, e pela qual tem uma localização entre si quando existem em conjunto*»<sup>66</sup>. Deverá, portanto, existir uma infinidade de sistemas de referência equivalentes e associados a cada corpo.

Leibnitz reserva os artº 24 a 29 para insistir no significado do sensorium. No artº 38, laconicamente, Leibnitz afirma «*aqueles que pensam que as forças activas diminuem por si na natureza, não compreendem as principais leis da natureza*»<sup>67</sup>, persistindo na defesa da conservação, erigindo este princípio como lei natural associada à ordem e perfeição. No artº 40 fundamenta este princípio na ideia simples de que «*a imperfeição das nossas máquinas, razão pela qual necessitam de afinações, deriva de não serem suficientemente dependentes do construtor (...) a dependência da natureza em relação a Deus, longe de ser a causa de tal imperfeição, é uma razão suficiente*

<sup>61</sup> (Ibid.:37).

<sup>62</sup> (Ibid.:37).

<sup>63</sup> (Ibid.:38).

<sup>64</sup> (Ibid.:38).

<sup>65</sup> (Ibid.:39).

<sup>66</sup> (Ibid.:42).

<sup>67</sup> (Ibid.:42).

*para que não existam tais imperfeições na natureza*»<sup>68</sup>. Precisando que «*cada sistema particular na natureza está ligado á desordem, mas o universo, como um todo não pode diminuir em perfeição*»<sup>69</sup>. Esta reflexão pode associar-se premonitoriamente a um universo isolado num estado de equilíbrio térmico, ou a uma antevisão do comportamento termodinâmico dos vários subsistemas pertencentes a um sistema isolado?

No artº 45 Leibnitz continua a invectivar a teoria da gravidade como sendo «*uma coisa sobrenatural que dois corpos se atraíam mutuamente à distância, sem ter nenhum meio como intermediário*»<sup>70</sup>, insistindo que este efeito não pode ser explicado como uma propriedade dos corpos.

A carta termina com um postscriptum onde o autor se exprime, baseando-se no Princípio da Razão Suficiente, contra as teses que defendem a existência de átomos e do vazio: porque é que Deus em todo o espaço só colocaria matéria nalguns pontos? porque motivo essa mesma entidade criaria a matéria divisível até um ponto em que esta não se poderia dividir mais?

É possível neste momento fazer um pequeno balanço da disputa. Segundo Leibnitz, a existência de espaço absoluto conduz a contradições teológicas, logo não há qualquer justificação para este conceito. Os pilares filosóficos da argumentação são dois: O Princípio da Razão Suficiente, O Princípio da Identidade dos Indescerníveis. Também para ele faz sentido a existência de um Princípio da Conservação como grande princípio regulador da ordem universal e que se vai manifestando na interpretação dos vários fenómenos naturais.

**10.** Clarke (quarta réplica). A carta anterior do seu opositor iniciara-se com uma defesa, ou reafirmação, do Princípio da Razão Suficiente como um dos princípios suporte de toda a argumentação metafísica, mostrando que em determinadas situações, indiferença de posições, não há razão para escolha. Clarke dedica o seu artº 1-2 a rebater este argumento e fá-lo do seguinte modo: «*Seres inteligentes são agentes não passivos (...) possuem poder activo para se decidirem perante motivos fortes, outras vezes perante motivos fracos, e outras vezes perante corpos que são absolutamente indiferentes*»<sup>71</sup>; ou seja, Deus e o Homem possuem a inteligência que lhes permite decidir perante situações perfeitamente indiferentes, é aprofundado o argumento já aflorado no artº 1 da sua segunda carta.

<sup>68</sup> (Ibid.:42).

<sup>69</sup> (Ibid.:42).

<sup>70</sup> (Ibid.:43).

<sup>71</sup> (Ibid.:45).

A indescernibilidade leibnitziana é refutada nos artº 3-4 e 5-6, reafirmando-se a discernibilidade de corpos idênticos. Clarke escreve *«é verdade que duas folhas e talvez duas gotas de leite não sejam exactamente iguais, porque são dois corpos bastante compostos. Mas o caso é muito diferente nas partes simples da matéria sólida»*<sup>72</sup>. Frisa em seguida que mesmo corpos compostos podem ser idênticos, não deixando de representar dois corpos, podendo a sua localização não ser a mesma, sendo indiferente a posição que ocupam. Conclusão: indiferença não é o mesmo que indescernibilidade. Mais adiante sublinha *«duas coisas podem ser exactamente idênticas e não cessarem de ser duas»*<sup>73</sup> como é o caso de duas partes do tempo, todavia *«dois pontos de tempo, não são o mesmo, nem são dois nomes do mesmo ponto temporab»*<sup>74</sup>. E exemplifica, associando o tempo ao movimento : *«tivesse deus criado o mundo neste momento, ele não teria sido criado quando foi (...) o universo material deve estar animado do seu movimento próprio, pois nada que é finito é imóvel»*<sup>75</sup>. Tempo é associado a acontecimentos e entre estes terá que haver uma relação de antes-e-depois, existindo por certo um qualquer cronómetro que dá esta relação para qualquer acontecimento.

Como se percebe Clarke rebate os dois princípios basilares em que Leibnitz sustenta o seu raciocínio, isto é, não aceitando as hipóteses do seu arguente, salva-se das incoerências em que este aparentemente o fechara. A todo o custo foge à armadilha de ter de negar a existência do espaço absoluto.

A reafirmação de que os espaços vazios na natureza não são imaginários, existindo efectivamente o vazio, é objecto do artº 7 . A argumentação na defesa do vácuo é feita com base, naquilo a que poderíamos chamar, a massa volúmica das diferentes substâncias: (a) constata-se que a massa específica das substâncias não está relacionada com a dimensão ocupada pelo material; (b) o mercúrio é um fluido como a água, no entanto é dez vezes mais pesado que esta; (c) então no mesmo volume tem que existir maior quantidade de matéria; (d) logo numa substância terá que haver mais vazio do que na outra.

Os artº 8, 9 e 10 são reservados à resposta sobre as propriedades do espaço. Assim *«o espaço vazio de corpos, é a propriedade de uma substância incorpórea»*<sup>76</sup>, o espaço é, portanto, a propriedade (atributo) de uma substância particular. Acrescentando-se que *«espaço vazio não é um atributo sem sujeito porque, por espaço vazio, não se pretendia espaço vazio de tudo,*

---

<sup>72</sup> (Ibid.:46).

<sup>73</sup> (Ibid.:46).

<sup>74</sup> (Ibid.:46).

<sup>75</sup> (Ibid.:46).

<sup>76</sup> (Ibid.:47).

*mas somente vazio de corpos*»<sup>77</sup>, contudo Deus preenche-o e «*possivelmente muitas outras substâncias imateriais*»<sup>78</sup>. Persistindo em dizer, sem refutar a opinião do seu opositor, que o espaço é «*imenso e imutável e eterno*»<sup>79</sup>, correspondendo a uma necessária consequência da existência de Deus. Subsiste a ideia de uma substância particular, definida exclusivamente no plano metafísico (teológico), cujo atributo é o espaço e tempo absoluto. No artº 11-12 a indivisibilidade do espaço é defendida nos seguintes termos: o espaço infinito não pode ser apreendido na totalidade, o que implica que na «*nossa imaginação ele será concebido como composto por partes*»<sup>80</sup>, mas essas partes imaginadas são «*indescerníveis e inamovíveis entre si*»<sup>81</sup>, consequentemente o espaço é absolutamente indivisível. Esta defesa também não é claramente convincente. Sem emitir um juízo de valor parece que Clarke-Newton se encontra em dificuldades para conseguir salvar o seu espaço absoluto quer como necessidade, quer como propriedade.

A afirmação de Leibnitz, «*dois estados indescerníveis correspondem ao mesmo estado*»<sup>63</sup>, feita na carta anterior, vai permitir a Clarke, artº 13, uma contestação onde faz apelo à noção de movimento relativo. Aponta que «*movimento e repouso no Universo não são o mesmo estado*»<sup>82</sup>, exemplificando com a situação de um homem que, colocado no interior da cabina de um navio, sem qualquer referência exterior, «*não se pode aperceber quando o navio navega ou não, caso se mova uniformemente*»<sup>83</sup>. Embora o observador não se aperceba do estado de movimento, situação de indescernibilidade, este pode encontrar-se em estados diferentes «*e tem efeitos reais diferentes*»<sup>84</sup> (imagine-se o que acontecerá perante uma paragem súbita). Clarke pretende surpreender Leibnitz com a ideia de que a distinção entre estes dois estados de movimento pode fazer-se mediante uma experiência dinâmica; esta experiência permitirá identificar o referencial absoluto. É mais um argumento a favor da necessidade do espaço absoluto. Com este exemplo Clarke (ou Newton) começa a preparar o terreno para que o seu adversário seja confrontado com a noção dinâmica de referencial baseada no princípio da inércia. Clarke chama a terreiro os Principia de Newton, onde, segundo a sua opinião, a definição 8 contem várias considerações sobre a diferença entre movimento real e movimento relativo. Curiosamente Clarke não cita, da mesma obra, a análise, feita por

<sup>77</sup> (Ibid.:47).

<sup>78</sup> (Ibid.:47).

<sup>79</sup> (Ibid.:47).

<sup>80</sup> (Ibid.:48).

<sup>81</sup> (Ibid.:48).

<sup>82</sup> (Ibid.:48).

<sup>83</sup> (Ibid.:48).

<sup>84</sup> (Ibid.:48).

Newton no Scholium, do movimento da água no interior de um balde animado de movimento de rotação. Este argumento decisivo de Newton pró existência de espaço absoluto não será ignorado por Leibnitz na sua última resposta.

No artº 18 Clarke responde a Leibnitz sobre a contradição avançada por este entre a uniformidade e a discernibilidade: «*A uniformidade do espaço não é um argumento contra a acção de Deus em qualquer das partes, na forma que lhe aproven*»<sup>85</sup>(84); pois, é perfeitamente possível que diferentes corpos sejam colocados em lugares perfeitamente idênticos, podendo Deus, como ser inteligente e não passivo, ter possibilidades infinitas de actuação.

No artº 38 Clarke mantém «*dois corpos vazios de elasticidade, chocando um contra outro com forças contrárias, ambos perdem o seu movimento*»<sup>86</sup>, esta é a lei natural, logo não é possível manter a exigência de conservação como uma lei natural. Embora os termos empregues sejam bastante imprecisos, Clarke refere-se certamente à não conservação da vis viva nos choques não elásticos. Só na última peça da controvérsia, a quinta carta de Clarke, estes conceitos aparecem mais clarificados. Contudo Clarke insiste que, artº 31, «*A harmonia pré-estabelecida é uma mera palavra e não é causa*»<sup>87</sup> de qualquer efeito, não voltando a referir-se às forças activas. Resiste à necessidade do tal princípio exigido por Leibnitz, como sustentador da ordem e perfeição.

No artº 41 contra-argumentando a ideia exposta por Leibnitz sobre o tempo, enquanto ordem de sucessão dos acontecimentos, Clarke escreve: «*O tempo não pode ser a mera ordem de sucessão dos acontecimentos, é evidente; porque a quantidade de tempo pode ser maior ou menor (...) a sucessão pode ser rápida ou lenta com a mesma ordem, mas não no mesmo tempo*»<sup>88</sup>.

No artº 45 Clarke defende a existência da gravidade, sem no entanto a classificar como uma propriedade dos corpos: «*o meio pelo qual dois corpos se atraem mutuamente pode ser invisível e intangível (...) mas actuando regularmente pode chamar-se de natural*»<sup>89</sup>.

**11.** Leibnitz (quinta réplica). O número de artigos cresce até 130. Nesta última carta, ao contrário de todas as outras, Leibnitz menciona os artigos da epístola anterior de Clarke em relação aos quais dirige a sua argumentação.

Os seus primeiros vinte artigos são dedicados a reafirmar o Princípio da Razão Suficiente, contestando as posições previamente defendidas por Clarke, isto é, que Deus e

<sup>85</sup> (Ibid.:49).

<sup>86</sup> (Ibid.:52).

<sup>87</sup> (Ibid.:51).

<sup>88</sup> (Ibid.:52).

<sup>89</sup> (Ibid.:53).



o Homem possuem a inteligência que lhes permite decidir perante situações perfeitamente indiferentes. A reafirmação do princípio aduzido, e a razão pela qual Deus a ele se tem que submeter, é lapidariamente escrita no artº 19: *«a perfeição de Deus requebre que todas as suas acções devam estar de acordo com a sua sabedoria, e que dele não se possa dizer que actuou sem razão, ou até que preferiu uma razão fraca perante uma razão forte»*<sup>90</sup>.

Os artº 21-25, dedica-os Leibnitz a responder à situação colocada por Clarke sobre a indiferença de posição de dois corpos perfeitamente idênticos, organizando o seu raciocínio do seguinte modo: baseado no Princípio da Razão Suficiente não existem na natureza dois corpos perfeitamente idênticos, pois, caso existissem, *«Deus e a natureza actuariam sem uma razão»*<sup>91</sup>; não podem portanto existir corpos que escapem à indescernibilidade, donde *«não admito na matéria, partes perfeitamente sólidas, sem possuírem um movimento qualquer entre as suas partes, tal como os supostos átomos são imaginados»*<sup>92</sup>. Assim, finalizando, escreve: na natureza *«não há nada simples, na minha opinião, a não ser mónadas que não tem partes nem extensão. Corpos simples, mesmo perfeitamente idênticos, são uma consequência da falsa hipótese da existência de vácuo e de átomos ...»*<sup>93</sup>.

Os artº 26-32, são votados por Leibnitz à argumentação de Clarke que *«duas coisas podem ser exactamente idênticas e não cessarem de ser duas»*<sup>69</sup> como é o caso de duas partes do tempo e de duas partes do espaço. Leibnitz parte da suposição que podem existir dois corpos perfeitamente indescerníveis, continuando assim a ser dois, anunciando de imediato que *«a suposição é falsa e contrária ao grande princípio da razão»*<sup>94</sup>, o princípio da razão suficiente. Se anteriormente, no limite da abstracção, é dito que o que existe são mónadas, logo na natureza, no universo real, tudo é composto, portanto discernível, caindo por base a existência de corpos indescerníveis, é imediato que não se poderá verificar situações de indiferença. Em seguida lança mais uma crítica contra *«a filosofia superficial, tal como a dos atomistas e dos defensores do vácuo, que forja coisas que a razão superior não admite»*<sup>95</sup>.

No artº 29 reafirma que é ficção conceber um *«universo finito e material movendo-se no espaço vazio»*<sup>96</sup>, visto que *«não existe espaço real fora do universo material»*<sup>97</sup>. É impossível a observação exterior ao universo finito e material, o que implica a incapacidade de detectar

<sup>90</sup> (Ibid.:60).

<sup>91</sup> (Ibid.:61).

<sup>92</sup> (Ibid.:61).

<sup>93</sup> (Ibid.:62).

<sup>94</sup> (Ibid.:62).

<sup>95</sup> (Ibid.:63).

<sup>96</sup> (Ibid.:63).

<sup>97</sup> (Ibid.:63).

as suas mudanças absolutas. Sobre o movimento, e após negar que tudo o que é finito tem movimento, define-o como a *«mudança de situação em relação a qualquer coisa, o que implica um novo estado discernível do primeiro: caso contrário a mudança é pura ficção»*<sup>98</sup>.

Os artº 33-35 discutem o problema do espaço vazio, refutam o silogismo expresso por Clarke no artº 7 da carta anterior. Leibnitz menciona as experiências de Guericke e de Torricelli, tidas como demonstradoras da existência de vazio, como não concludentes quanto à existência do vácuo. Segundo ele *«o vidro tem pequenos poros que os feixes de luz, os eflúvios do íman e outros fluidos subtis podem atravessar»*<sup>99</sup>, logo, ao extrair-se o ar, a matéria que toma o seu lugar é muito mais subtil. Daqui passa a algumas considerações sobre a causa do peso das substâncias, é importante citar o próprio autor: *«quer o mercúrio quer a água são substâncias de matéria pesada, cheias de poros, através dos quais passa grande parte de matéria ausente de peso, tal como os raios de luz e outros fluidos insensíveis, e especialmente aqueles que em si provocam a gravidade dos corpos pesados»*<sup>100</sup>. Poder-se-ia dizer que, para Leibnitz, o vazio seria o éter gravítico. Seguem-se algumas considerações sobre a natureza da força gravítica: *«É preciso uma imaginação estranha para fazer com que toda a matéria grave, uma em direcção à outra, como se qualquer corpo atraísse os outros de acordo com as suas massas e a distância, e isto devido a uma atracção propriamente dita que não deriva de um impulso oculto entre os corpos; a gravidade dos corpos sensíveis em direcção ao centro da terra deve ser produzida pelo movimento de qualquer fluido»*<sup>101</sup>. Para Leibnitz, como ele próprio faz questão de sublinhar, um corpo nunca inicia o seu movimento naturalmente, excepto quando um outro o toca, empurrando-o, persistindo o movimento até encontrar de novo um outro corpo com o qual contacta.

Os artº 36-48 são reservados a questionar as propriedades do espaço que lhe tinham sido conferidas por Clarke nos artº 8-9 da réplica anterior, expondo Leibnitz de uma forma assaz peculiar a forma como o homem constrói a sua própria noção de espaço, enfatizando a concepção de tempo e espaço relacional (ou relativo). Perante a ideia exposta por Clarke que o espaço é o atributo de uma substância particular, Leibnitz replica: *«se o espaço é uma propriedade ou afecção de uma substância que está no espaço, o mesmo espaço será, algumas vezes, a afecção de um corpo, outras vezes de outro, algumas vezes de uma substância imaterial, outras vezes do próprio Deus, quando estiver vazio de qualquer outra substância material ou imaterial. É uma estranha*

<sup>98</sup> (Ibid.:64).

<sup>99</sup> (Ibid.:65).

<sup>100</sup> (Ibid.:66).

<sup>101</sup> (Ibid.:66).

*propriedade ou afecção que passa de um sujeito para outro*»<sup>102</sup>. Em seguida escreve que não se pode confundir imensidade com a extensão dos corpos e, distingue dimensão de localização: o «*espaço infinito não é a imensidade de Deus; espaço finito não é a extensão dos corpos: tal como tempo não é duração. Os corpos possuem extensão; mas não possuem o seu próprio espaço. Tudo tem a sua própria extensão e duração, mas não tem o seu próprio tempo e o seu próprio espaço*»<sup>103</sup>. A negação do espaço absoluto e a defesa de uma concepção relativa do espaço e tempo inerente a qualquer corpo (a qualquer referencial) é exposta do seguinte modo (art47): (a) perante a existência de vários corpos estabelecem-se as relações de posição; (b) os corpos mudam de posição; (c) de entre os diferentes corpos que coexistem alguns não sofrem qualquer mudança; (d) aqueles que mantêm as mesmas relações com os corpos fixos ocupam a mesma posição; (e) «*e ao conjunto de todas as posições chama-se espaço*»<sup>104</sup>; (f) em conclusão, para «*estabelecer a ideia de lugar, e consequentemente de espaço, é suficiente considerar estas relações, e as regras da sua variação, não há qualquer necessidade de invocar uma realidade absoluta fora das coisas que estão sob nossa consideração*»<sup>105</sup>.

Nos artº 52-53 Leibnitz responde a Clarke sobre o argumento da indescernibilidade de dois estados de movimento para um observador situado no interior de uma cabina fechada de um navio. A réplica assenta no argumento que «*o movimento não depende de quem o observa, mas depende da possibilidade de ser observado*»<sup>106</sup>; se não há qualquer variação observada, não pode existir movimento, «*o contrário baseia-se na suposta existência de um espaço absoluto real*»<sup>107</sup>. Dirigindo-se a Newton refere que «*não encontra nada na oitava definição dos Principia, nem no Scholium que prove ou possa provar, a realidade do espaço em si*»<sup>108</sup>. No entanto reconhece a diferença entre «*movimento absoluto de um corpo e uma variação relativa de posição em relação a outro corpo*»<sup>109</sup>, definindo-a do seguinte modo: «*quando a causa da variação [do movimento] está no corpo, o corpo está em movimento absoluto; e a situação dos outros corpos em relação a este variará consequentemente, embora a causa da variação não esteja neles*»<sup>110</sup>. Persiste o problema: como verificar o efeito que permite identificar a causa provocadora do movimento. Este é

<sup>102</sup> (Ibid.:67).

<sup>103</sup> (Ibid.:69).

<sup>104</sup> (Ibid.:69).

<sup>105</sup> (Ibid.:69).

<sup>106</sup> (Ibid.:74).

<sup>107</sup> (Ibid.:74).

<sup>108</sup> (Ibid.:74).

<sup>109</sup> (Ibid.:74).

<sup>110</sup> (Ibid.:74).

o cerne do exemplo aventado por Clarke, esquivando-se Leibnitz a rebater o argumento dinâmico que nele estava implícito.

Nos artº 99-102 Leibnitz responde à não conservação da força activa sustentada por Clarke. É categórico na defesa da conservação de força activa, desenvolvendo o raciocínio seguinte: os corpos como um todo perdem, de facto, a força activa, mas esta não é destruída, ela será absorvida pelas partes que constituem os corpos. Aquilo que hoje poderia enunciar-se: uma parte da energia do movimento é absorvida, na forma de energia interna, pelos corpos em presença.

Nos artº 104-106 Leibnitz defende o espaço e tempo como medidas de ordem, enquanto que no artº 118-123, referindo-se à atracção gravítica, escreve «*se os meios que provocam a atracção propriamente dita forem constantes e ao mesmo tempo, sendo verdadeiros, são inexplicáveis pelo poder dos homens, devem ser considerados milagres*»<sup>111</sup>. Afirmando mais uma vez a sua não aceitação da força gravítica como causa natural de movimento, apelidado-a de «*entidade quimérica, qualidade escolástica e oculta*»<sup>112</sup>.

**12.** Clarke (quinta réplica). Esta é a última peça da controvérsia e que Leibnitz não chegou a ler porque, entretanto, morreu. À cabeça depara-se com um curto período onde o autor se propõe responder a todas as objecções de uma forma breve, pois «*muitas palavras nunca foram um argumento de ideias claras de quem as escreve*»<sup>113</sup>. É um comentário jocoso perante a longa carta anterior de Leibnitz ou, o reconhecimento de que a polémica chegara, independentemente da morte de um dos intervenientes, ao fim, devido às posições irreconciliáveis expressas por ambos? Haverá, por certo, várias interpretações para este comentário inicial de Clarke, mas um facto é indesmentível: não se enquadra no tom a que este autor nos habituou ao longo de toda a controvérsia. Se a última carta de Leibnitz é extensa, a peça mais longa de toda a polémica, repleta de argumentos, a última réplica de Clarke, embora também extensa, é relativamente mais parcimoniosa na sua riqueza argumentativa.

Inicialmente, nos primeiros vinte artigos, Clarke reitera a diferença entre seres passivos e activos o que possibilita a decisão perante situações perfeitamente indiferentes: «*como pode alguém dizer que é impossível Deus ter boas razões para criar tantas partículas materiais*

---

<sup>111</sup> (Ibid.:94).

<sup>112</sup> (Ibid.:95).

<sup>113</sup> (Ibid.:97).

*exactamente iguais em diferentes posições no universo?»*<sup>114</sup>. Mais uma vez recusa a aplicação do Princípio da Razão Suficiente tal como Leibnitz o fizera.

Em resposta aos artº 21-25 da carta de Leibnitz, Clarke joga com os argumentos do opositor: primeiro, «*é possível que Deus tenha feito dois corpos exactamente iguais*»<sup>115</sup>; mas Leibnitz não o admite, pois isso implicaria que Deus actuaria sem uma razão; finalmente, remate conclusivo de Clarke «*como é que ele [Leibnitz] sabe que não seria razoável Deus actuar desta forma?*»<sup>116</sup>. Clarke usando os próprios argumentos de Leibnitz vai conduzi-lo a uma contradição: como é possível limitar as acções infinitas de Deus à vontade do filósofo alemão? Nestes artigos não há qualquer referência ao problema dos átomos levantado pelo seu opositor, Clarke não adianta qualquer argumentação sobre esta questão.

A argumentação de Clarke contra os artº 26-32 de Leibnitz desenvolve-se no sentido de o enredar numa contradição subtil: como Leibnitz parte da suposição que dois corpos idênticos são indescerníveis, a ele «*é permitida como possível uma suposição, no entanto a mim não me é permitida tal suposição*»<sup>117</sup>, neste caso a hipótese contrária; porque partindo desta é legitimada a existência de corpos iguais e distinguíveis entre si, como pretendia Clarke. Ao facto de ser impraticável observar exteriormente o movimento do universo, Clarke contrapõe: «*se o movimento do todo aumentasse ou diminuísse, haveria o choque das suas partes; e é evidente que se o movimento fosse circular produziria uma vis centrífuga em todas as partes*»<sup>118</sup>; devendo, portanto, existir um referencial privilegiado, em relação ao qual todas as mudanças são detectadas. Clarke utiliza o argumento semelhante ao já usado por Newton no Scholium dos Principia, a água rodando no interior do balde. Este é o grande argumento dinâmico em prol do espaço absoluto e, estranhamente, só é utilizado na última carta da polémica. Leibnitz, porque já o conhecia, aludiu ao conteúdo do Scholium na sua carta anterior.

Os artº 36-48 contem uma resposta de Clarke, de argumentação sofrível, onde, fundamentalmente, se afirma alguns dos princípios newtonianos da mecânica: «*o espaço não é a afecção de um corpo (...) mas é sempre invariavelmente a imensidade de um só e sempre o mesmo immensum*»<sup>119</sup> e «*Deus não existe no espaço e no tempo, mas a sua existência é a causa do espaço e do tempo*»<sup>120</sup>. Não há nenhuma crítica explícita ao espaço relacional de Leibnitz, mas uma repetição do que Newton escrevera nos Principia. Para exemplificar a pobreza

<sup>114</sup> (Ibid.:98).

<sup>115</sup> (Ibid.:99).

<sup>116</sup> (Ibid.:100).

<sup>117</sup> (Ibid.:100).

<sup>118</sup> (Ibid.:101).

<sup>119</sup> (Ibid.:103).

<sup>120</sup> (Ibid.:104).

argumentativa utilizada por Clarke sobre a natureza e propriedades do espaço absoluto leia-se o que escreve no artº 46: «*Como o espaço finito não é a extensão dos corpos, mostrei-o acima, no parágrafo 40. E os dois parágrafos seguintes também, basta comparar com o que já foi dito*»<sup>121</sup>; e nesses parágrafos repetem-se posições...

Nos artº 52-53 Clarke, em resposta ao que Leibnitz defendeu sobre a possibilidade de observação dos diferentes estados do movimento, não aduz novos argumentos, limita-se a remeter o seu opositor para o que escrevera anteriormente, bem como a lançar o seguinte convite: «*deixo o juízo para aqueles que pretendem comparar o que este sábio escritor [Leibnitz] alega com o que Sir Isaac Newton diz nos seus Principia*»<sup>122</sup>. Esta economia de explanação argumentativa é muito usada nesta carta onde Clarke em diferentes ocasiões remete o leitor para o exposto noutros artigos. Parece haver uma vontade expressa em terminar a controvérsia.

Nos artº 99-103 Clarke riposta sobre o problema da conservação da força activa. Interpretando este termo como a quantidade de movimento, o produto da massa pela velocidade e não o produto da massa pelo quadrado da velocidade, Clarke sustenta que nos choques não há diminuição natural desta grandeza, há conservação. Todavia, citando a segunda lei de Newton, a força é proporcional à variação da quantidade de movimento, e se no universo existem forças, então terá que haver variação da quantidade de movimento, logo não há invariância. O discípulo de Newton nega a conservação como princípio fundamental regulador do movimento universal, para terminar com a pergunta: «*não tem Deus a liberdade para fazer a natureza, que deve continuar na sua presença o tempo que lhe aprover, podendo ser alterada de qualquer modo que ele queira?*»<sup>123</sup>.

Nos artº 110-116 Clarke vai retorquir sobre as diferenças «*entre que é miraculoso e o que não é*»<sup>124</sup>. Pronunciando-se sobre a atracção gravítica diz: «*não é razoável chamar à atracção um milagre (...) pois, por este termo não se pretende exprimir a causa dos corpos tenderem uns para os outros, mas simplesmente o efeito, ou o próprio fenómeno e as leis dessa tendência descoberta pela experiência, qualquer que seja a sua causa*»<sup>125</sup>. Será mais razoável defender esta força ou o estranho fluido avançado por Leibnitz, ou ainda «*uma tão estranha hipótese como a harmonia praestabilita*»<sup>126</sup>?

<sup>121</sup> (Ibid.:104).

<sup>122</sup> (Ibid.:105).

<sup>123</sup> (Ibid.:113).

<sup>124</sup> (Ibid.:114).

<sup>125</sup> (Ibid.:115).

<sup>126</sup> (Ibid.:115).

## Conclusão

**13.** Não se pretende nomear vencedor, nem tão pouco atribuir qualquer prémio à qualidade dos argumentos em causa. Vale a pena fazer um balanço sumário sobre as diferentes opiniões dos vários problemas de física invocados ao longo de toda a disputa e, numa perspectiva de actualidade, ajuizar sobre os seus reflexos no desenvolvimento do conhecimento científico. Como se disse o núcleo duro da toda a controvérsia gira em torno da existência de um espaço e tempo absolutos, daí o abordar-se este problema em primeiro lugar. Embora sem hierarquizar a importância de tudo o que estava sob discussão, e as divergências eram grandes, o segundo ponto polémico, no capítulo da filosofia natural, deverá ser a necessidade da existência de um princípio de conservação como entidade explicadora do comportamento físico da Natureza. Deste modo esta questão será analisado em segundo lugar.

**14.** (O problema do espaço e do tempo absolutos) O sucesso da Mecânica Newtoniana na física e na astronomia nos últimos dois séculos acabou por constituir decisivamente a chave da sua influência sobre as concepções filosóficas que vieram a ser adoptadas pelo mundo científico. Não é, portanto, de estranhar que toda a atitude crítica exercida por Leibnitz sobre as concepções newtonianas, em particular no que diz respeito ao espaço e tempo absolutos, tenha encontrado pouco eco ao longo deste período, sem, no entanto, jamais ser esquecida.

Tudo começou com o diferendo sobre a atribuição do epíteto de órgãos sensoriais de deus a essas duas entidades que são o espaço e o tempo. Será que estes atributos estariam de acordo com o estatuto da divindade? Não há dúvida que, tal como aponta Clarke, é muito provável que Newton, na Óptica, utilizasse esta imagem como mera comparação, no sentido de ilustrar a sua teoria da percepção. Todavia nos Principia o seu autor cede à tentação de colocar estas duas entidades físicas como atributos da divindade. O objectivo desta identificação é compreensível sob dois significados: primeiro, confere aos Principia uma visão mais geral, mais cosmológica, como princípios matemáticos da filosofia natural, ultrapassando assim o mero tratado de mecânica instrumental, e este era uma das pretensões do seu autor; segundo, procura dar-se fundamentação teológica às bases matemáticas da filosofia natural, estabelece-se uma relação metafísica entre o transcendente e o material ou mensurável, o que na época constituía efectivamente uma necessidade.

A existência do espaço e tempo absolutos constitui um dos pilares da mecânica newtoniana. A oposição de Leibnitz a estes conceitos, propondo, em alternativa, a sua teoria relacional do espaço-tempo, suportada pelos dois princípios metafísicos, o Princípio da Razão Suficiente e o Princípio da Identidade dos Indescerníveis, constitui um marco importante na contestação às ideias de Newton. Leibnitz retira-lhe o atributo de absoluto, coloca-o na dimensão dos corpos conhecidos e, não explicitamente, subtrai-o à alçada da divindade. A contestação de Clarke aos argumentos do seu opositor está na sua última carta «(...) e é evidente que se o movimento fosse circular produziria uma vis centrífuga em todas as partes»<sup>127</sup>. Não refutando os argumentos cinemáticos de Leibnitz, recorre ao argumento dinâmico, e decisivo, empregue por Newton nos Principia. A consistência dos argumentos cinemáticos leibnitzianos levantam duas questões importantes: (a) a impossibilidade de se provar cinematicamente, pelo movimento, a existência de um referencial absoluto; (b) a necessidade da medida física, comparar distâncias e tempos, para produzir argumentos físicos. O último argumento de Clarke não pôde ser refutado por parte do seu opositor, embora na sua última réplica Leibnitz se furtasse a responder aos argumentos dinâmicos expostos pelo seu opositor. Se Leibnitz tivesse podido responder à quinta carta de Clarke, deveria escrever qualquer coisa de equivalente ao que já tinha feito numa carta endereçada a Huyghens (outro crítico das concepções Newtonianas): «(...) Quanto à diferença entre movimento absoluto e relativo, creio que se o movimento ou a força responsável pelo movimento dos corpos é qualquer coisa de real como se deve reconhecer, é necessário que ela possua um sujeito. Porque a e b indo um contra o outro, acrescento que a todos os fenómenos acontecerá o mesmo, qualquer que seja aquele que esteja em movimento ou repouso; e quando existirem 1000 corpos, estou de acordo que os fenómenos não saberão fornecer (nem mesmo aos anjos) uma razão infalível para determinar o sujeito do movimento ou do seu grau, e que cada um poderia ser concebido à parte como estando em repouso, mas não negais que cada um tem um certo grau de movimento ou, se preferis, de força, não obstante a equivalência de hipóteses. É verdade que concludo que na natureza há mais qualquer coisa que a Geometria não pode determinar. E por entre várias razões que me sirvo para provar que para além da extensão e das suas variações, que são entidades puramente geométricas, é preciso reconhecer qualquer coisa de superior que é a força, e esta não é das menores. O Senhor Newton reconhece a equivalência das hipóteses no caso de movimento rectilíneo, mas no que diz respeito ao movimento circular, ele crê que o esforço que fazem os corpos circulantes em se afastarem do centro ou do eixo de circulação é prova do seu movimento absoluto. Mas tenho razões que me permitem acreditar que nada romperá com a lei geral da equivalência (...)»<sup>127</sup>. Leibnitz procurava afanosamente

<sup>127</sup> in Max Jammer (1954). *Concepts of Space*. Harvard: Harvard University Press, 119



encontrar argumentos que, sob o ponto de vista dinâmico, refutassem a célebre demonstração dada por Newton sobre a existência do espaço e movimento absolutos e onde este fazia intervir a força centrífuga. E neste ponto encontrou dificuldades insuperáveis, tão insuperáveis que a mecânica de Newton se afirmou definitivamente. Todavia, convém sublinhar a percepção leibnitziana em reconhecer a dificuldade de identificar as forças no movimento de 1000 corpos, cujo estudo só pode ser feito à luz de uma outra formulação da mecânica (onde a conservação desempenha um papel fundamental). Mais, aquela invocação de razões para acreditar na lei geral da equivalência poder-se-á interpretar, à luz do que hoje se sabe, como a seguinte afirmação: todos os corpos de referência, qualquer que seja o seu estado de movimento, são equivalentes na descrição da natureza, isto é para a formulação das leis gerais da natureza. Leibnitz intuía o Princípio da Relatividade Generalizada.

E, após a disputa, as ideias desenvolvidas por Leibnitz foram enviadas para o limbo filosófico, filósofos como Voltaire e matemáticos como Euler tomam claramente o partido das ideias Newtonianas, só Kant, nos seus primeiros escritos adoptou a teoria relacional do espaço e tempo para, mais tarde, por influência de Euler abandonar completamente esta teoria.

No séc. XX Einstein constrói toda a Teoria da Relatividade Restrita assente em dois postulados: as leis da física são equivalentes em todos os referenciais inerciais; a velocidade das ondas electromagnéticas no vazio é constante e independente do estado de movimento da fonte e do observador. Daqui se conclui duas incapacidades importantes: a primeira, a da observação do movimento em relação a um referencial privilegiado ou absoluto; a segunda, a incapacidade de determinar um tempo absoluto, não possuindo esta realidade física, só tendo sentido o tempo referido a cada referencial, isto é ao referencial próprio do sistema. Fisicamente reemerge a velha teoria relacional de espaço-tempo de Leibnitz...

**15.** (O Princípio da conservação) O problema da conservação da força e vigor, supõe-se a vis viva leibnitziana, em todo o universo é abordado na primeira carta de Leibnitz, ignorado na primeira réplica de Clarke, embora este se manifeste explicitamente contra a ideia de «*o mundo ser uma grande máquina, movendo-se sem a intervenção de Deus*»<sup>16</sup>, ou seja, um qualquer princípio da conservação tornaria supérfluo, desnecessário, essa intervenção, argumento que persiste na segunda réplica de Clarke. O princípio da conservação é suscitado em torno da discussão sobre a natureza e intervenção divina no

universo, sobre o atributo da intelligentsia supramundana, em relação com um mundo harmonioso, ordenado e perfeito. Na terceira carta Leibnitz volta à carga, sendo contestado por Clarke na réplica seguinte. Subsiste no entanto o problema do termo empregue que parece só se vir a clarificar nas duas últimas cartas; a vis viva não tem efectivamente o mesmo significação para os dois autores, cada um referia-se a uma grandeza diferente, isto é, mesmo sob o ponto de vista matemático seria impossível entenderem-se.

Para Leibnitz a conservação da vis viva correspondia a um princípio fundamental de harmonia pré-existente, necessário para a explicação do universo ordenado. Só a ordem estaria de acordo com a ideia de perfeição de Deus. Clarke recusa este conceito de harmonia pré-estabelecida, mais, argutamente, na sua quarta carta mostra que há situações onde a vis viva de Leibnitz não se conserva. Conclusão, a própria natureza, entendida exclusivamente como máquina regida pelas leis da mecânica, encarrega-se de demonstrar a não existência deste princípio geral. Mas Leibnitz não aceita facilmente esta refutação e contesta as opiniões do seu adversário, propondo, sem sustentação experimental ou matemática, um mecanismo de formas de transferência de energia que justifiquem a invariância global desta grandeza.

O que está patente em toda a polémica são as bases de duas concepções científicas opostas: a defesa de um princípio geral, sem evidência empírica, defendido metafisicamente; ou, ao contrário, a defesa de leis naturais suportadas na evidência empírica, formuladas matematicamente. Em Leibnitz o princípio da conservação, suporte da sua concepção física do mundo, é sustentado por uma argumentação exclusivamente metafísica. Há uma falha de manifestação empírica capaz de corroborar qualquer princípio da conservação como princípio geral da natureza. O próprio Clarke chama a atenção do que se passa com os choques não elásticos, mas a defesa de Leibnitz contem em si os fundamentos da conservação de uma energia mais geral que só dois séculos volvidos se viria a compreender fisicamente. Para Newton (Clarke) o comportamento da natureza determinava-se pelo jogo dinâmico das forças e do movimento, havia mudança e, embora das leis da mecânica se pudesse deduzir os princípios da conservação, a natureza não se mostrava conforme à conservação. Empiricamente tudo se sustentava pelas forças e pelo movimento.

Como se sabe, ainda no séc. XVIII, a formulação vectorial da mecânica de Newton dá origem à formulação escalar desta mesma disciplina feita por Lagrange, onde as equações do movimento se deduzem com base no conceito de energia, eliminando-se a

força, e provando-se com facilidade a conservação daquela grandeza. A partir do séc. XIX, a conservação, melhor, o princípio da conservação de diferentes grandezas físicas, começa a ser aceite como um princípio natural de expressão do mundo físico de tal forma que, actualmente, no mundo das partículas elementares alguns dados empíricos só podem ser explicados a partir da conservação de grandezas especificamente criadas para servir esta invariância. Aceita-se hoje, como perfeitamente sustentável o princípio da conservação, o que corresponde à imagem de uma harmonia pré-estabelecida leibnitziana.

**16.** Subterraneamente o mundo leibnitziano foi resistindo ao avanço e às vitórias das ideias newtonianas, de tal modo que, com a física moderna, já no séc. XX, poder dizer-se que se restaurou, de certo forma, uma visão leibnitziana da natureza.

## A Ciência em Portugal no século XX: a Física no período entre guerras<sup>1</sup>

### 3. O papel de uma geração

Formados academicamente no fragor da agitação que percorreu as universidades portuguesas desde o final da década de vinte até meados dos anos trinta, acompanhados pelas recordações dos anfiteatros onde ecoavam as leituras solenes de uma ciência, no geral, velha, muito mastigada e pouco discutida, a grande maioria dos bolseiros enviados pela JNE vão viver nas capitais europeias um ambiente político e académico muito vivo e cheio das inquietações premonitórias dos tempos duros que se avizinhavam. É nesse cruzamento de memórias entre o país calado pela força, e forçadamente cada vez mais afastado da modernidade, e o que se aprendera e vivera nas metrópoles mais avançadas, que uma geração de jovens cientistas se vai empenhar na tentativa de transformação da realidade científica portuguesa.

Consultando o QUADRO II (p.**Erro! Marcador não definido.**) (dados retirados, na sua maioria, da conferência feita por Cyrillo Soares em 1937), verifica-se que grande parte dos bolseiros regressa a Portugal, no sentido de iniciar uma carreira de investigação e ensino, em torno da idade dos trinta anos, isto é, com uma idade adequada para o início da sua carreira profissional. E, ao regressarem a Portugal, vão encontrar no país uma situação difícil para a sua integração: primeiro, as condições para prosseguir a investigação são praticamente inexistentes; segundo, o entendimento da investigação, enquanto uma actividade própria e autónoma, não é entendida como tal pela maior parte do corpo académico.

No domínio da Física e da Matemática, porque se está a tratar de Física Teórica, investigadores com obra publicada em revistas internacionais, mantendo uma actividade com alguma regularidade de publicações, só, como já foi referido, os casos de Mira Fernandes e de Ruy Luís Gomes: o primeiro ensinando na Universidade Técnica de Lisboa e de uma geração anterior aos bolseiros, o segundo na Faculdade de Ciências do Porto e pertencendo à geração dos bolseiros. Mira Fernandes é um caso singular na investigação matemática portuguesa, professor de uma escola de engenheiros e, inicialmente, também da escola de economistas, jamais terá na sua audiência estudantil um campo fértil para o magistério da investigação e está condenado, enquanto investigador, a uma marcha solitária,

---

<sup>1</sup> Fitas, A.J., e António A. P. Videira (org.) ( 2004). *Cartas entre Guido Beck e Cientistas Portugueses*. Lisboa: Instituto Piaget (Capítulos 3 e 4)

embora o seu exemplo tenha sido responsável por um determinado magistério de influência. Bento de Jesus Caraça, que assistiu às suas aulas e por ele foi convidado para assistente, foi um dos tocados por esta acção influenciadora, acção que também se estendeu a Ruy Luís Gomes, o que é atestado pela escolha dos seus temas de trabalho. Mas a presença de Ruy Luís Gomes numa Faculdade de Ciências, ensinando Física Matemática, dava-lhe, à partida, melhores condições para chamar à colaboração na sua investigação professores e alunos; e é isso que vai acontecer.

No domínio da Física, a investigação era inexistente, contudo o Laboratório de Física da Faculdade de Ciências de Lisboa procurou junto da JEN apoio financeiro para garantir a actividade dos bolseiros então regressados. O depoimento do primeiro bolseiro doutorado no estrangeiro, e docente deste laboratório, Manuel Valadares, ao retomar a sua actividade, é muito expressivo da situação vivida:

«(...) voltei com a convicção de que era preciso criar entre nós a investigação científica no domínio da Física. Ela nunca tinha existido entre nós, à parte alguns casos esporádicos realizados mais com objectivo de satisfazer imposições legais do que como consequência de um desejo, de uma necessidade cultural (...) Voltando ao País com esta convicção de que me deveria entregar à obra de criar, ou contribuir para criar um Centro de Investigação em Física, estava naturalmente indicado fazê-lo na escola onde era assistente. Aqui não havia, de facto, material algum que servisse para trabalhar no domínio onde me especializara, nem quase havia lugar para trabalhar. Eu já vinha, aliás, preparado para me deparar em tal situação e não sofri por isso desânimo algum; era preciso começar-se fosse em que condições fosse: começou-se. Basta dizer-lhe que a primeira instalação que montei foi toda (à exclusão duma velha bobina que tinha sido pertença do colégio de Padres de Campolide...) com material emprestado. Alguns meses depois desta instalação estar a funcionar alguém me sugeria a possibilidade de ir como professor auxiliar para Coimbra; recusei: tinha encetado uma obra e queria levá-la até ao fim. O trabalho foi prosseguindo com o apoio de algumas boas vontades e a hostilidade mais ou menos disfarçada de outros (...).» (Carta de Manuel Valadares para Ruy Luís Gomes, in SALGUEIRO, 1978: 3)

Importa aqui reter, da parte de Valadares, esta ideia de investigação «como consequência de um desejo, de uma necessidade cultural», bem ao contrário da atitude mais frequente daqueles professores que faziam trabalhos esporádicos, necessários para satisfazer as imposições de uma carreira, um trabalho que jamais poderia alimentar uma actividade de pesquisa continuada. Em Valadares, este «desejo» e «necessidade cultural», era, sob o ponto de vista pessoal, a vontade interior de se dedicar à investigação, de tomar esta actividade como o seu modo de vida. O espírito de alguns bolseiros regressados coincidia com o espírito manifestado por Valadares: afastavam-se das necessidades

carreiristas e apostavam em sustentar uma dedicação exclusiva à investigação, assumindo o ensino como um corolário desta actividade. Era um espírito que, através de uma paráfrase às palavras de Aurélio Quintanilha na sua conferência no salão d' *O Século*, se poderá exprimir do modo seguinte: «a Universidade *poderá passar a produzir* porque o recrutamento dos elementos novos é feito pelos velhos que *não os* seleccionam à sua imagem e semelhança, pessoas com mentalidade *diferente* e que sejam elementos perturbadores».

Ao chegarem a Portugal, perante a ausência de condições de trabalho e animados de uma fortíssima vontade de mudança, a atitude e a acção deste grupo de jovens investigadores é essencialmente caracterizada por quatro atributos que, sem se estabelecer qualquer ordem temporal na sua sucessão, são essencialmente os seguintes: *procura de dedicação integral à investigação, o que na altura constituía uma novidade, colocando as preocupações «de carreira» na Universidade em último plano; apoio decidido e entusiasta àqueles que, dentro do País, representavam uma atitude iconoclasta perante a investigação; organização de estruturas de suporte à actividade de pesquisa; participação activa no movimento de resistência cultural e cívica que grassava no país*. Evidentemente, existiram bolseiros que foram assimilados pelo *statu quo*, e a estes não se aplicarão as características acabadas de enunciar, mas também eles em nada contribuíram para alterar o panorama existente, bem pelo contrário, prolongaram-no. Examine-se mais detalhadamente as condições em que (e o modo como) opera cada um destes atributos.

Dedicar-se à investigação era tarefa quase impossível, pois «os vencimentos são parcos e mal permitem viver a não ser na pobreza e na miséria – e não estou a fazer literatura (...) para que um professor consiga ganhar razoavelmente precisa de, mesmo na situação de catedrático, aceitar acumulações de regência que o esgotam, sem lhe permitir trabalho produtivo» (COSTA, 1934: 24). Este é o panorama traçado por um responsável da Junta e a única alternativa existente residia nas bolsas de estudos da JEN, e depois do IAC, que remuneravam parcial ou totalmente estes investigadores, as chamadas bolsas para o país. Contudo, consultando o QUADRO III, observa-se que a quantia reservada para este tipo de bolsas foi: primeiro, sempre inferior à reservada para as bolsas para o exterior, excepto em 1941-42; segundo, sofreu cortes sucessivos, o que anulou completamente os efeitos pretendidos. O que escreve Valadares retrata as dificuldades:

«(...) se em certos períodos o meu ordenado de assistente e a bolsa que o IAC me dava permitiam viver sem preocupações económicas, outros houve em que, reduzido só aos vencimentos da Faculdade, a situação financeira não era de molde a criar o estado de espírito necessário para prosseguir na tarefa encetada (...).» (carta de Manuel Valadares para Ruy Luís Gomes, in SALGUEIRO, 1978: 4)

Mesmo com todas estas dificuldades, homens como António Aniceto Monteiro, Aurélio Marques da Silva e Manuel Valadares, lançam-se na tarefa ingente de criar a investigação em Física e Matemática em Portugal. O caso de António Aniceto Monteiro é ainda mais exemplar: entre 1938 e 1943, porque se recusou a assinar o documento de compromisso político exigido pelas autoridades a todos os funcionários públicos<sup>2</sup>, foi-lhe cortado o subsídio do IAC e «vive de lições particulares, de um trabalho remunerado no Serviço de Inventariação da Bibliografia Científica, criado pelo Instituto de Alta Cultura» (DIONÍSIO, 1987: 385). O corte das bolsas do IAC, ou a sua atribuição de um modo bastante irregular, era um dos mecanismos utilizados para, com uma certa eficácia, quebrar a vontade daqueles que persistentemente insistiam em investigar, dissuadindo-os de prosseguir ou obrigando-os a afastarem-se dessa actividade (veja-se a alusão feita a este facto na C-460400<sup>3</sup>).

QUADRO III (verbas atribuídas anualmente) (TAVARES, 1951: 15)

Ano lectivo	Bolsas de investigação para fora do país	Bolsas de investigação para o país	Ano lectivo	Bolsas de investigação para fora do país	Bolsas de investigação para o país
1929-30	429500\$00	109000\$00	1938-39	899707\$30	167200\$00
1930-31	750000\$00	234500\$00	1939-40	760995\$30	180000\$00
1931-32	860800\$00	239200\$00	1940-41	445700\$00	285000\$00
1933-34	666000\$00	225000\$00	1941-42	350000\$00	400000\$00
1934-35	707950\$00	194100\$00	1942-43	450000\$00	315300\$00
1935-36	1116996\$45	214957\$00	1943-44	510000\$00	321500\$00
1936-37	775572\$50	131966\$60	1944-45	540000\$00	363000\$00
1937-38	821150\$00	101850\$00	1945-46	590000\$00	420500\$00

O apoio decidido e entusiasta dos bolseiros recém chegados aos que, dentro do país, remavam contra a maré, isto é, desenvolviam alguma actividade de pesquisa, é a forma de alargar o seu círculo de acção no seio da comunidade universitária e de, ao mesmo tempo, tentarem permeabilizar a Universidade a esta nova atitude: instalar a investigação

<sup>2</sup> «Regressado ao País (...) Passou então a viver com uma modestíssima bolsa que o IAC lhe concedeu; passados alguns meses exigiram-lhe, para poder continuar a ser bolseiro, a assinatura de um compromisso político —que pessoa alguma lhe havia imposto ao enviá-lo para o estrangeiro. Tendo-se recusado a assinar um compromisso que repugnava á sua consciência deixou de ser bolseiro e a sua vida e a dos seus decorreu daí em diante em condições de dificuldade económica que, por vezes, roçaram pela miséria (...)» (carta de Manuel Valadares para o *Diário da Manhã*, in SALGUEIRO, 1978: 6)

<sup>3</sup> De ora em diante sempre que surja uma referência a uma das cartas publicadas, porque elas serão apresentadas cronologicamente, ela será feita desta forma: **C** (carta), seguindo-se a designação da data (AnoAnoMêsMêsDiaDia).

como actividade fundamental e prioritária nas escolas portuguesas. Havia que planear e concatenar esforços, no sentido de fugir à investigação individual e episódica, e Valadares conta como, em 1933, «em longas conversas com o Prof. Cyrillo Soares», à época o director do Laboratório de Física da Faculdade de Ciências de Lisboa, se delineou o trabalho onde

«a experiência no estrangeiro me havia mostrado que o laboratório especializado era aquele que dava maior rendimento, designadamente nos centros que dispunham de reduzidas dotações e de pessoal científico pouco numeroso». (VALADARES, 1950: 94)

Esta «visão estratégica» manifestada por Manuel Valadares vai permitir-lhe um feito único a que, talvez ainda hoje, não seja dado o realce que merece: de todos os físicos experimentais, oriundos de universidades, e que, na época, fizeram o seu estágio no estrangeiro, ele é o único a construir, mesmo em condições francamente adversas, os meios para investigar, recusando-se a ocupar a trincheira «da ausência de condições» e enveredando pela via de, mesmo nessa ausência, haver sempre investigação de qualidade que podia ser praticada.

Em 1936 começou um capítulo novo e importante desta aventura: «criou-se o Núcleo de Física, Matemática e Química, constituído por antigos bolseiros da JEN em Paris - os antigos combatentes dos tempos heróicos (...) mas tinha sido necessário aguardar o regresso de António Monteiro!...» (SILVEIRA, 1976: 23); núcleo que juntou a si outros professores como Bento de Jesus Caraça e Ruy Luís Gomes.

O Núcleo promoveu num dos anfiteatros do IST, vários cursos de Física e Matemáticas modernas, dos quais publicou os textos das lições<sup>4</sup>. Ruy Luís Gomes foi um dos convidados e falou sobre Cinemática Relativista<sup>5</sup>, Bento de Jesus Caraça leccionou sobre Cálculo Vectorial<sup>6</sup>. Embora com um tempo de vida muito curto<sup>7</sup>, a acção do Núcleo teve o efeito de uma verdadeira pedrada no charco, de tal forma que sofreu, como não podia deixar de ser, uma forte oposição dos académicos instalados («os tais velhos que

---

<sup>4</sup> Esta escola foi a única a dar guarida às actividades do «Núcleo»; o Instituto Superior de Ciências Económicas e Financeiras, onde Bento de Jesus Caraça era professor catedrático, e a Faculdade de Ciências, à qual pertenciam Valadares e Marques da Silva, recusaram-se, pela voz dos seus directores, a cederem as suas instalações (GIL, 2003: 83).

<sup>5</sup> A edição destas lições constitui o primeiro manual científico, publicado em Portugal, sobre a Relatividade Restrita (GOMES, 1938)

<sup>6</sup> Sem a preocupação de dar a lista completa, eis, a título de exemplo, outros cursos organizados pelo «Núcleo»: Herculano Amorim Ferreira, «Teoria da radiação térmica e dos calores específicos»; António da Silveira, «Introdução à teoria da electricidade e do magnetismo»; António Monteiro, «Teoria das matrizes»; Manuel Valadares, «Efeito fotoeléctrico». De todos os cursos só foram editadas as lições do «Cálculo Vectorial», da «Teoria da Relatividade Restrita» e da «Teoria da radiação térmica e dos calores específicos».

<sup>7</sup> Terminou a sua actividade em Novembro de 1939 (MASCARENHAS, 1997: 34).



recrutam à sua imagem e semelhança», segundo Aurélio Quintanilha) que foi, tal como escreveu um dos seus fundadores, António da Silveira, «encabeçada por Vitor Hugo de Lemos, a tal ponto que Carneiro Pacheco, o Ministro da Educação na época, chegou a declarar: “vou legislar sobre o ensino superior particular”» (SILVEIRA, 1976: 24)<sup>8</sup>. Contrariamente a esta reacção, o presidente do IAC de então, Professor Celestino da Costa, reconhecia méritos à acção deste grupo que constituía uma tentativa de «organizar a investigação nas ciências matemáticas, físicas e químicas em bases extra-escolares, embora com sede nas universidades a que pertenciam os investigadores» (COSTA, 1939: 13). O objectivo do grupo pode ser interpretado como uma forma de pressionar o poder instituído nas Escolas para uma actividade científica livre, aberta à discussão e aos novos conhecimentos, inaugurando uma prática de seminário até aí inexistente nas escolas portuguesas. Não admira, portanto, que muitos jovens, captados por esta nova forma de debater os temas científicos, frequentassem as suas sessões.

A actividade do Núcleo vai ser determinante em alguns aspectos da prática futura que se avizinha, a saber: no estreitamento de relações entre os investigadores das três universidades; na criação de condições para o aparecimento de Centros de investigação financiados pelo IAC; no lançamento de uma imprensa científica moderna e, consequentemente, nos contactos com os investigadores estrangeiros. A acção do Núcleo foi efectivamente o pilar da organização de estruturas de suporte à actividade de pesquisa. E a prová-lo estão as notas pessoais de Bento de Jesus Caraça<sup>9</sup> que são elucidativas sobre alguns dos propósitos implícitos no agir do grupo de fundadores: insistência numa ligação mais orgânica de toda a actividade às instituições onde se deveria praticar a investigação, isto é, às Faculdades.

E os acontecimentos vão precipitar-se: em 1937 é fundada a *Portugaliae Mathematica*; em 1938 inicia-se na Faculdade de Ciências o *Seminário Matemático de Lisboa* que toma, em Novembro de 1939, o nome de *Seminário de Análise Geral*; ainda em 1938 nasce no Instituto Superior de Ciências Económicas e Financeiras o *Centro de Estudos de Matemáticas Aplicadas à Economia*, cujo primeiro presidente é Bento de Jesus Caraça; em Janeiro de 1939 nasce a *Gazeta de Matemática*; em Fevereiro de 1940 é fundado pelo IAC o *Centro de Estudos Matemáticos de Lisboa bem como o Centro de Estudos de Física* (in GM, 10, 1942); em Fevereiro de

<sup>8</sup> Victor Hugo de Lemos, oficial do exército e Licenciado em Matemática pela FCUL, professor catedrático de matemática da mesma faculdade, foi Ministro da Instrução da Ditadura Nacional entre 21/12/29 e 21/12/30, era um apoiante do regime.

<sup>9</sup> «1937 (...) Começam os sintomas de desinteligências por haver quem não desista de ir para a Faculdade (Monteiro e Valadares) (...)» (MASCARENHAS, 1997: 31)

1942, também fundado pelo IAC, aparece o *Centro de Estudos Matemáticos do Porto* (GOMES, 1983), cujo grande impulsionador foi Ruy Luís Gomes; em Janeiro de 1943 surge a *Portugaliae Physica* e em 1946 aparece a *Gazeta de Física*. Na *Portugaliae Mathematica*, vol. I (2ª parte), são reimpressos todos os artigos de Mira Fernandes já publicados nos *Rendiconti*. Esta é a forma de os bolseiros recém chegados ao país fazerem jus à obra de investigação do maior matemático português vivo reconhecido além fronteiras, relembrando a singularidade do seu trabalho. As iniciativas de Bento Caraça e R. Luís Gomes nas suas escolas, mostram bem como a estratégia dos impulsionadores do Núcleo, ao agregarem a si o que havia de activo e de interessado na investigação em Física e Matemática dentro das universidades portuguesas, dava os seus frutos; sem nos anteciparmos à história, é do Centro do Porto que nascerá o Seminário de Física Teórica.

Quer pela sucessão dos acontecimentos acabados de expor, quer pelo que se tem vindo a relatar, é inegável que, de todos os bolseiros chegados, dois se destacam pelo seu espírito de missão, tenacidade e entusiasmo.

O primeiro é Manuel Valadares, pela forma organizada, meticulosa e de uma dedicação extrema com que ergueu o primeiro Laboratório de Física a fazer investigação em Portugal; a sua figura impõe-se pela tenacidade e clareza de propósitos: consegue orientar e dirigir cinco doutoramentos<sup>10</sup> de assistentes universitários, coisa até aí nunca vista nas Faculdades de Ciências portuguesas. Após um convite que lhe é feito por Ruy Luís Gomes para ser contratado como catedrático da faculdade de Ciências do Porto no ano em que lhe é reconhecido o doutoramento (1942), responde:

«(...)Vejamos agora qual a situação actual do Centro. Em primeiro lugar há que destacar a boa vontade que a Direcção do IAC evidenciou, criando, como era nosso desejo há muito tempo, a situação de investigador. Este facto veio dar um novo alento a todos os que aqui trabalham e a meu ver este ano que se aproxima vai ser crucial na vida do Centro. Pessoalmente tenho a meu cargo a direcção dos seguintes trabalhos: espectrografia de raios X (F. Mendes e dois espanhóis, assistentes da universidade de Madrid que para aqui virão, em Novembro ou Dezembro), espectrografia da radiação  $\gamma$  (Lídia Salgueiro), espectrografia de radiação  $\beta$  (Carlos Braga) e ainda acompanhar nos primeiros passos de dois jovens licenciados que para o ano começarão a trabalhar no Centro. A minha partida, neste momento, representa possivelmente um atraso no prosseguimento de todos estes trabalhos, atraso tanto mais sério, que alguns deles se destinam a actos de doutoramento, e diminuiria certamente o rendimento geral do Centro (...) razões que me impedem de sair de Lisboa nesta ocasião (...)» (carta de Manuel Valadares para Ruy Luís Gomes, in SALGUEIRO, 1978: 4).

<sup>10</sup> Francisco Mendes e Lídia Salgueiro do Laboratório de Física da FCUL, Marieta da Silveira do Laboratório de Química da FCUL, Carlos Braga e José Sarmento do Laboratório de Física da FCUP.

Com o trabalho de investigação bem alicerçado e com uma equipa produzindo resultados, Valadares saltou para a criação da *Portugaliae Physica*.

O segundo é António Aniceto Monteiro que, apesar das dificuldades extremas em que vivia, galvanizou pelo seu entusiasmo toda uma geração de jovens matemáticos<sup>11</sup>, onde avultam, entre outros, as figuras de Sebastião e Silva e Hugo Ribeiro, destacando-se pelo seu pioneirismo nas iniciativas científicas e na forma como lançou as bases do que chamava o Movimento Matemático. Das palavras escritas por Monteiro na secção «Movimento Matemático» da Gazeta Matemática, retirámos dois extractos que exemplificam a sua atitude:

«Pensou-se há algum tempo em publicar um jornal –que teria por título Movimento Matemático– destinado a lançar uma campanha para uma reforma dos estudos matemáticos em Portugal e a fazer a propaganda das principais correntes do movimento matemático moderno.

(...) É precisamente pelo estudo, pelo trabalho de investigação e pela propaganda das matemáticas, que se pode preparar o ressurgimento dos estudos matemáticos, em Portugal, mas importa evidentemente orientar a nossa actuação pelas lições que nos são dadas pela nossa experiência e pela experiência das outras nações. Há que definir um rumo, e segui-lo enquanto a experiência mostrar que estamos no bom caminho! (...)» (in GM, 10, 1942).

Tal como para Valadares, para Monteiro o acto de investigar definia a atitude inteligente do homem perante o mundo:

Ser investigador é um dever de todo o cidadão consciente das suas responsabilidades perante a sociedade, porque ser investigador é adoptar uma atitude crítica, perante a vida e o conhecimento, para chegar a novas conclusões.

Mas é claro que para investigar, em certos capítulos da ciência, é necessário uma preparação especial, um longo treino, uma escola (...)

Existem, na realidade, investigadores sem qualidade para o ensino, mas nenhum professor poderá iluminar as suas lições com cores vivas e profundas se não tiver vivido os problemas que trata, se não tiver investigado na disciplina que professa (...)» (in GM, 21, 1944).

Pela clareza dos seus propósitos, pela vontade em alterar a situação de atraso, pela sua militância activa por uma cultura científica, os bolseiros, pelo menos alguns deles, vão assumir uma participação activa no movimento de resistência cultural e cívica que grassava no país. Um movimento que, a par de outras iniciativas, se manifestará sobretudo através

---

<sup>11</sup> Aquilo que se viria a chamar o Movimento Matemático dos anos 40. Pela sua acção no CEML foi o responsável por um forte fluxo de bolseiros, no início dos anos quarenta, para estudar Matemática no estrangeiro: Hugo Ribeiro (em Zurique); José Ribeiro de Albuquerque, José Sebastião e Silva e Virgílio Barroso (em Roma).

da imprensa cultural como é o caso d' *O Diabo* e *Sol Nascente* (ambos nascem e morrem na segunda metade da década de trinta) e da *Seara Nova* que nascida no princípio dos anos vinte atravessará toda a ditadura e viverá ainda o 25 de Abril de 1974. É, de facto, nas páginas destas revistas, bem como de outras que se lhes seguirão, que se pode medir o esforço feito para difundir publicamente ideias científicas e de filosofia da ciência<sup>12</sup>, enquanto temas importantes da cultura contemporânea. Aflorar-se-á, à laia de exemplo, o caso dos dois jornais primeiramente referidos.

*O Diabo*<sup>13</sup>, inicialmente um «Semanário de crítica literária e artística», em meados da sua existência passou a incluir em epígrafe a sua dedicação «às Ciências». Tal mudança, embora bastante efémera, mostra a importância que, na sua colaboração, tinha o pensamento científico contemporâneo, e este facto ficou a dever-se, no essencial, à colaboração de Abel Salazar<sup>14</sup>. Da sua colaboração, na temática científica, podem destacar-se os títulos: «Simultaneidade, Causalidade e Complementaridade», «Os precursores: Lobatchewsky, Riemann; as geometrias não-euclidianas e a sua significação filosófica», «Os precursores: Whitehead e Russell; a Logística», «O Microcosmos: a Matéria, a Teoria dos Quanta e o Heisenbergismo», «De como um elevador, um arranha-céus, vai introduzir o leitor na Teoria Geral da Relatividade», «Boltzmann e Heisenberg: a crise do determinismo; causalidade e probabilidade»<sup>15</sup>. A partir de Maio de 1938, *O Diabo* cria uma página, intitulada «Cultura Científica», onde os aspectos filosóficos da ciência contemporânea são tratados, recorrendo-se muitas vezes a extractos de artigos e notícias publicados em jornais franceses, e onde também são dadas algumas notícias que envolvem a ciência portuguesa. Pelo teor do que foi publicado advinha-se que Abel Salazar é a alma desta página. Nas páginas deste jornal colaboraram Aurélio Quintanilha, Bento de Jesus Caraça, Ruy Luís Gomes e Manuel Valadares. Deste último destaca-se um texto sobre Ampère, assinalando o centenário da sua morte, e um outro sobre as recordações da sua estadia no

<sup>12</sup> Cf. FITAS, RODRIGUES e NUNES, 2000.

<sup>13</sup> *O DIABO* publicou-se em Lisboa entre 1934 (2 de Junho) e 1940 (21 de Dezembro) e intitulou-se «Semanário de crítica literária e artística», entre os números 142 e 161 passou a ostentar o subtítulo «Semanário cultural de crítica livre às Artes, às Letras e às Ciências» para, até ao seu último número se intitular «Semanário de Literatura e crítica». Foi dirigido sucessivamente por Artur Inez (até ao nº58), Ferreira de Castro (até ao nº63), Rodrigues Lapa (do nº73 até ao nº140). O seu último director (a partir do nº 275) foi Manuel Campos Lima. Foi um jornal sempre com preocupações políticas e sociais, manifestando sempre uma posição antifascista. O ter assumido sempre, e de um modo crescente, a contestação ao salazarismo conduziu à proibição da sua publicação pela censura.

<sup>14</sup> A contribuição do Prof. Abel Salazar neste semanário iniciara-se anteriormente com artigos do domínio da crítica e ensaísmo artístico.

<sup>15</sup> Capítulos de uma série, publicada ao longo de cinquenta números do jornal, intitulada «Pensamento Positivo Contemporâneo».

Laboratório Curie. Neste último artigo que aparece na primeira página de um dos últimos número da curta existência deste jornal, Valadares, numa linguagem simples e pontuada com exemplos da sua experiência de trabalho junto de Mme Curie, acentua o carácter colectivo da investigação científica contemporânea:

«Esta laboração colectiva da investigação científica constitui sem dúvida, um dos factores primaciais do alto rendimento que a investigação atingiu nos últimos anos (...) ao fazer-se a história da Física contemporânea há que atender, para ser justo, ao apreciar a obra de cada um, não só aquele que assinou mas ainda à obra de carácter colectivo em que tomou parte. A primeira é sempre a mais notória mas a segunda, por vezes, não é menos útil à humanidade» (VALADARES, 1940).

De entre vários artigos, Bento Caraça apresentou, no último número do ano de 1938, uma cuidada recensão crítica ao livro de Einstein e Infeld «A Evolução da Física» (edição francesa); note-se que este livro fora publicado nesse mesmo ano<sup>16</sup>. Esta recensão, num jornal deste tipo, assume a forma de um pequeno artigo claríssimo sobre o significado das grandes revoluções na Física desde Galileu a Schrödinger, onde, sem a pretensão de conclusão, Caraça, finaliza:

«(...) ele é simplesmente empolgante e recomendamos vivamente a sua leitura. Esta mesma atitude nos coloca inteiramente à vontade para formular reparo a uma falta que nos parece grave.

Não transparece da leitura a mais pequena relação do trabalho do físico com a vida do seu tempo. Parece que o cientista, investigador e interpretador da realidade física, vive à parte, numa célula privilegiada do espaço-tempo, onde não chega o rumor das lutas e dos sofrimentos dos homens, das suas aspirações, dos seus fracassos e dos seus triunfos, da maneira como trabalham e se organizam» (CARAÇA, 1938).

No número 302 aparece, assinado por António Aniceto Monteiro «Etapas da investigação matemática em Portugal»...

Apesar de ser um colaborador activo n' *O Diabo*, Abel Salazar está muito mais comprometido com o projecto editorial do *Sol Nascente*<sup>17</sup>: o projecto está sediado no Porto e, logo no seu segundo número, aparece uma secção designada por «Revista de Ideias» com a sua assinatura. Uma outra secção, subscrita pelo mesmo autor, «O movimento científico

---

<sup>16</sup> A edição original, em língua inglesa, é de 1938 (*The Evolution of Physics*, Nova Iorque, Fimon & Schuster); a francesa é do mesmo ano (*L'Évolution des Idées en Physique*, Paris, Flammarion). Quanto à edição portuguesa de *A Evolução da Física*, ela só aparece na década de cinquenta sob a chancela dos Livros do Brasil, s.d..

<sup>17</sup> *Sol Nascente, quinzenário de ciência, arte e crítica* foi fundado no Porto a 30 de Janeiro de 1937 e é encerrado a Março de 1940; inicialmente com a direcção «exercida por um grupo de discípulos de esquerda de Abel Salazar», passando, a partir de 1938 a ser o órgão da nascente geração neo-realista de Coimbra o que faz que, embora com sede no Porto, a sua redacção efectiva passa a ser em Coimbra. Tal como a *O Diabo*, a censura obriga-o também a encerrar as portas.

português»<sup>18</sup>, transportou para o conhecimento dos leitores os trabalhos de, entre outros, Celestino da Costa, Roberto Chaves, Ruy Luís Gomes e Aniceto Monteiro. Havia a preocupação de apresentar a ciência e a investigação científica portuguesa como temas importantes a serem publicamente divulgados. A nova geração de investigadores portugueses era encomiasticamente saudada nas colunas desta secção; Abel Salazar refere-se a Aniceto Monteiro nos termos seguintes:

«Uma aurora de pensamento filosófico digno deste nome parece des-pontar, em Monteiro, no charco filosofista português, onde ora troa a retórica bombástica, ora a masturbação bizantina dos sofistas de meia-tijela, ora a erística polémica do mais baixo quilate»(SALAZAR, 1938).

No espólio de Abel Salazar que se encontra na sua Casa Museu, consta uma carta de Aniceto Monteiro onde este lhe agradece o busto de Maurice Fréchet que aquele modelara, talvez sob encomenda da Sociedade Portuguesa de Matemática. Esta carta é bastante reveladora da forma como alguns sectores da universidade portuguesa se comportavam perante os investigadores estrangeiros de nomeada, neste caso o próprio Fréchet que na Faculdade de Ciências fizera alguns seminários. Ei-la:

«Meu caro amigo

Acabo de receber a fotografia do busto de Fréchet e quero enviar-lhe as minhas mais sinceras felicitações pela magnífica obra que acaba de realizar, e renovar-lhe os meus agradecimentos pelo seu valioso oferecimento em nome do Seminário de Análise Geral.

Estamos todos impacientes por admirar o busto de Fréchet. Modelado por si e apresentado por mim vai ter por certo uma recepção catastrófica da parte dos gangsters da ciência portuguesa, que pontificam nesta Faculdade. Se for preciso será mais uma bandeira que será carinhosamente guardada e que verá a luz do dia quando ela chegar. Entretanto o espírito que ele representa continuará a ser cultivado e admirado por todos aqueles que desejam o progresso e a cultura.

Numa conferência que o Fréchet aqui fez não havia na assistência um único professor ou assistente de Matemática da Faculdade. Não foi apresentado aos alunos da faculdade e finalmente (para mim a menor, para eles a maior desconsideração que lhe fizeram) nem o almoço de cortesia vulgar lhe ofereceram!

Nós aqui limitamo-nos a procurar fazer frutificar o seu ensino.

Um grande abraço do [illegível] e amigo

António Monteiro

PS. Peço-lhe o favor de me mandar o total das despesas que tem feito e daquelas que é preciso fazer».<sup>19</sup>

---

<sup>18</sup> Uma secção deste tipo numa revista de largo espectro cultural, julgamos ser caso único, em Portugal, pelo menos a partir dessa época.

<sup>19</sup> Espólio Abel Salazar, «Correspondência», doc.69; o busto de Fréchet pertence ao espólio da casa Museu Abel Salazar.

Muito provavelmente porque Monteiro fora o introdutor da lógica matemática nos círculos científicos portugueses, matéria de grande importância no ideário do «Círculo de Viena», Abel Salazar, adepto desta corrente filosófica, o terá saudado da forma que se assinalou. Já um ano antes, nas páginas do mesmo jornal, Abel Salazar, defendendo o mesmo sistema filosófico, declarava que nesta tarefa, na defesa duma «concepção científica do mundo», «se esforça igualmente, embora por outros processos, o moço e já ilustre matemático Ruy Gomes, bem como, noutro campo, o Prof. Caraça» (SALAZAR, 1937). Levado por esta irmanação de objectivos Abel Salazar propôs a Bento de Jesus Caraça a criação em 1938 de uma «Revista, mensal, de filosofia científica»<sup>20</sup>. Intitular-se-ia Actualidades Filosóficas com o subtítulo, Revista de Syntese e de Actualização, da responsabilidade de Bento de Jesus Caraça, Abel Salazar, António Monteiro e Ruy Luís Gomes e dela constariam diversas secções, entre outras, Movimento Filosófico, Movimento Científico, Movimento Científico Português. O projecto não passou de uma *maquette* em papel, mas nele podiam entrever-se algumas das ideias impressas no *Sol Nascente* e na revista *Síntese* de que Abel Salazar também será um dos inspiradores.

Ao longo dos três anos de vida do *Sol Nascente* saíram nas suas colunas textos assinados por Hans Reichenbach, Louis de Broglie, James Jeans, J.D. Bernal e Ruy Luís Gomes.

Como já se escreveu *O Diabo* e *Sol Nascente* morreram no ano de 1940. A vigilância da censura não perdoava, mas outras revistas tomarão o seu lugar como foram os casos da *Síntese*<sup>21</sup> e da *Vértice*<sup>22</sup>, ambas nascidas em Coimbra, a primeira de vida também muito curta, a segunda resistiu e viu o 25 de Abril de 1974.

Foi neste clima de efervescência cultural e científica, já com a guerra a assolar a Europa, que desembarcou em Portugal, na noite de 28 de Dezembro de 1941 (C-430608), um físico sem fronteiras. E não se apeia em Lisboa ou no Porto, as duas cidades que foram

<sup>20</sup> Arquivo Mário Soares: pasta 4410.001, doc.4

<sup>21</sup> *Síntese*, revista publicada em Coimbra com uma certa irregularidade, iniciou-se em Fevereiro de 1939 e veio a terminar em Dezembro de 1941. O seu primeiro número abriu com um manifesto «A cultura e o pensamento actual» assinado por Abel Salazar onde este expunha a carta de intenções da revista. De todas as revistas mencionadas foi aquela que mais espaço dedicou à ciência, especialmente à biologia, e à técnica. A partir do nº 11/12 passa a ostentar o subtítulo «Revista mensal de cultura científica-literária e artística».

<sup>22</sup> *Vértice*, fundada em Coimbra em 1942 e dirigida por Carmo Vaz e Raul Gomes, foi uma das revistas mais prestigiadas e de uma longevidade excepcional —lembre-se a duração de revistas congêneres— sendo o órgão de afirmação do neo-realismo. Embora ideologicamente muito marcada, pelas suas páginas desfilaram originais literários da maior parte dos prosadores, poetas e ensaístas portugueses contemporâneos. Mantendo a sua redacção em Coimbra, foi sempre uma voz de resistência ao salazarismo e com uma grande tenacidade resistiu aos golpes da censura. É uma revista que ainda hoje se publica, embora desde 1988 a sua redacção seja em Lisboa

os palcos privilegiados da acção contada nesta narrativa; fê-lo na cidade em cujo centro assentara arraiais, há séculos, a universidade portuguesa mais antiga. Em Coimbra, tal como nas outras duas cidades universitárias, fez-se sentir o movimento desta nova geração: foi no seio da juventude univer-sitária desta cidade que nasceu um dos núcleos mais importantes responsáveis pela criação do neo-realismo português. Também a Universidade de Coimbra sentira na pele a luta entre os próceres do regime e as vozes dissonantes que clamavam por liberdade e renovação e o resultado estava à vista: foram demitidos profes-sores em 1935 (Aurélio Quintanilha e Sílvio Lima), fechara-se a Imprensa da Universidade numa clara retaliação ao seu director, o Prof. Joaquim de Carvalho, figura de republicano que não escondia as suas simpatias democráticas e um dos dois professores que, na Assembleia da Universidade, votara ao lado de Aurélio Quintanilha. Mário Silva<sup>23</sup> um bolseiro «avant la lettre», saído em 1925 para Paris e regressado em 1929, alimentara a possibi-lidade de, a exemplo do que vira em Paris e à semelhança do que fora criado por Marie Curie, lançar um Instituto do Rádio, mas a breve prazo a esperança deu lugar à derrota. Em Paris deixara amigos, amigos que vão fazer alguma história na Física e vão participar nesta história que se está a contar. Mário Silva, a exemplo do que vira no estrangeiro, tentou também lançar no Laboratório de Física, socorrendo-se de colegas da Química e da Matemática, uma prática de seminários em torno de temas contemporâneos da Física, mas era difícil remar contra a inércia instalada. O excessivo número de disciplinas para leccionar to-lheu-lhe os movimentos e a vontade, contudo o cuidado coloca-do nas matérias que ensina e a publicação cuidada das suas lições<sup>24</sup>, completamente fora da edição «sebenteira» (praga que assolava toda a universidade portuguesa), colocou-o, neste capítulo, num lugar de destaque no ensino da Física<sup>25</sup>.

Apesar do ambiente adverso, só ou escassamente acompanhado —em 1936 já estava no Laboratório de Física, chegado de Manchester, um outro bolseiro, João Almeida Santos—, Mário Silva foi espreitando a oportunidade de alterar este estado de coisas. É então, já após o início da guerra, que recebeu uma carta, remetida de Paris, de alguém que

<sup>23</sup> Sobre o trabalho científico e académico de Mário Silva, cf. SANTIAGO, 2001.

<sup>24</sup> Silva, Mário, 1940, *Lições de Física* (apontamentos para uso dos alunos de Física da Faculdade de Ciências da Universidade de Coimbra). I livro – Macro-Física ou física fenomenológica, II livro – Micro-Física ou Física quântica, Coimbra, Livraria Académica; Silva, Mário, 1945, *Mecânica Física: Princípios fundamentais: Newton – Einstein*, Editorial Saber – Cursos Universitários; Silva, Mário, 1945, *Teoria do Campo Electromagnético* – volume I – *Maxwell-Lorentz-Einstein*, Coimbra; Silva, Mário, 1947, *Teoria do Campo Electromagnético* – volume II – *Coulomb-Derster-Ampère*, Coimbra; Silva, Mário, 1947, *Teoria do Campo Electromagnético* – volume III – *Faraday-Steinmetz-Hertz*, Coimbra.

<sup>25</sup> Mário Silva é o primeiro professor de Física a introduzir o ensino da Cinemática Relativista numa disciplina de Física Geral.



se propunha ensinar Física Teórica em Coimbra. O seu endereço fora sugerido pelos amigos que deixara em Paris e a sua resposta (C-420721), enviada para França, foi de anuência à sua vinda, uma aceitação sem grande entusiasmo, com as cautelas próprias de quem conhece o país e a universidade onde ensinava há doze anos. Esta é a razão pela qual, num dia de Inverno de 1941, muito perto do fim do ano, se apeou na estação de Coimbra B o físico Guido Beck.

#### 4. Planos para o Ensino da Física Teórica

Falar do ensino da Física Teórica em Portugal é falar da presença de Guido Beck em Portugal, é falar desta efémera aventura nos anos quarenta, na qual participaram um punhado de professores e estudantes das universidades portuguesas, e, como se verá seguidamente, é, ainda, falar do trabalho lançado em Portugal por este físico austríaco nos escassos 15 meses em que aqui esteve, antes de atravessar o Oceano Atlântico a caminho da Argentina.

Embora a sua estada tenha sido curta —Beck chega a 28 de Dezembro de 1941 e sai a 29 de Março de 1943— a experiência por ele vivida no país mais ocidental da Europa, relativamente a salvo da besta nazi, vai ser rica, interessante e aventureira. E se estes três adjectivos talvez não fossem, para o próprio Beck, os três qualificativos mais adequados para a sua passagem por Portugal, já passara por seis países (certamente com maiores aventuras) e contactara de muito perto homens como Niels Bohr e Werner Heisenberg (o que tinha sido muito rico e bastante interessante), para quem recebia a sua visita, para os portugueses —é neste ponto de vista que nos colocamos— a sua visita foi de facto muito rica, muito interessante e com laivos de aventura. Ela foi muito rica pelo trabalho e resultados alcançados, marcou de facto o início daquilo que apelidámos de «Uma Aventura com um Final Triste»; foi interessante pela interacção entre os actores em causa: Beck, além de se relacionar com os investigadores dos centros de investigação do IAC, os homens do Núcleo, contactou de perto outras personalidades do meio cultural e científico, como é o caso de Abel Salazar (C-430701) e de Corino de Andrade<sup>26</sup> (C-430224); foi

---

<sup>26</sup> Mário Corino de Andrade formou-se em Medicina pela Faculdade de Medicina de Lisboa no ano de 1928, especializou-se em neurologia, tendo saído do país no início da década de trinta, trabalhou, entre 1930 e 1938, na Clínica de Neurologia da Faculdade de Medicina de Estrasburgo, cumprindo durante o ano de 1936 um estágio em Berlim. Médico desde 1939 do Hospital de Santo António no Porto notabilizou-se como cientista por ser o responsável pela descoberta de uma patologia portuguesa de carácter hereditário, conhecida na história da medicina contemporânea pelo nome de doença de Andrade (para-amiloidose familiar portuguesa) que foi dada a conhecer à comunidade científica num artigo na revista inglesa *Bruin* em

aventurosa porque a sua presença foi objecto de alguma atenção por parte da PIDE, chegando a estar preso, durante três dias, de 21 a 23 de Fevereiro de 1943 (ou de 25 a 27), no Aljube por motivos, ousamos classificá-los, «kafkianos» (C-430608).

Guido Beck chega a Coimbra, não como um refugiado judeu de um país ocupado pelos nazis, mas como um professor de Física que vem dar lições na Universidade de Coimbra, «pour un bref séjour d'études à l'Université de Coimbra» (BECK, 1943a). Além de ser portador de um visto de entrada em Portugal, obtido num consulado em França (Lyon), está munido de uma «autorização de residência» temporária que tanto quanto se sabe era, inicialmente, de seis meses (C-430608). Beck procurara este país por duas razões: pela sua neutralidade no conflito que assolava a Europa, poderia dar continuidade aos seus trabalhos, e também porque alimentava, muito provavelmente, a secreta esperança de aqui permanecer, o que constituiria um meio de conseguir pôr a salvo da Checoslováquia a sua mãe que, como se verificará pelas referências nas suas cartas, acabará deportada e morta num campo de concentração nazi (C-421214). Em Maio de 1942, sentia que a sua situação era razoável: podia trabalhar em Coimbra e já conseguira um «permanent job» na Argentina (HAVAS, 1995, 31); restava-lhe aguardar pela sua mãe...

É evidente que, embora a sua qualidade de cidadão fosse diferente da de milhares de refugiados que passavam pelo país, na prática as coisas iam dar ao mesmo. Portugal vivia na época o grande fluxo de judeus fugidos dos países ocupados<sup>27</sup>. Este movimento que já começara, embora em menor escala, em 1933, assumira uma dimensão sempre crescente de tal modo que o governo, já a partir de 1938, desencorajava estes cidadãos de permanecerem em solo português (MÜHLEN, 1995); assim, nestas condições, para Guido Beck eram muito baixas as hipóteses de continuar em Portugal com um contrato «precário» de professor, embora Mário Silva o tenha tentado (C-420607)<sup>28</sup>.

1952. É interessante sublinhar que Corino de Andrade «estava a sofrer uma perseguição política com prisão quando o artigo foi publicado» (*in* BARRETO e MÓNICA, 1999, vol-VIII: 440).

<sup>27</sup> «(...) dos 100000 refugiados, que até ao Verão de 1944 atravessaram os países ibéricos, cerca de 40000 terão entrado em Portugal até Fevereiro de 1941. Devido ao forte fluxo por um lado, e devido ao atraso na saída por causa da guerra no mar, terão permanecido só em Lisboa, nos finais de 1940, 14000 pessoas estrangeiras» (MÜHLEN, 1995)

<sup>28</sup> Relembre-se a título de exemplo, e como caso excepcional que «em 1937, o Prof. Pulido Valente obteve de Salazar ao qual, aliás, se opunha politicamente, a permissão para o preenchimento da cátedra de Anatómo-patologia —inexistente em Portugal— pelo Prof. Wohlwill, um médico judeu alemão» (PIMENTEL, 1995). Este anatomo-patologista, cujo trabalho foi importantíssimo para a medicina portuguesa, chegou a naturalizar-se português para entrar nos quadros do Instituto Português de Oncologia, mas este facto implicou que «perdeu condições de trabalho e viu diminuir o salário que até aí recebia como cidadão estrangeiro (...) emigrou para os Estados Unidos da América onde veio a falecer» (*in* BARRETO e MÓNICA, 1999, vol-VIII: 439).

A sua «autorização de residência» terminará, ou não será prorrogada, no dia 31 de Julho de 1942 (C-430608) e, a partir desse dia, Guido Beck encontra-se efectivamente na condição de refugiado, um cidadão em fuga e em trânsito por Portugal, com destino a um outro país de acolhimento, a Argentina, onde já tinha um emprego à sua espera. De uma situação razoável, a vida portuguesa de Beck passou a uma situação deveras periclitante, pois caso não tivesse o visto do país de destino, com a respectiva passagem já prevista<sup>29</sup>, era expulso, isto é, mandado de volta para a França ocupada. A partir de Agosto assiste-se à preocupação de Beck em conseguir o visto para a Argentina (C-420808), o seu país de acolhimento e, simultaneamente, não só em procurar apoio financeiro (C-420910) para o pagamento da viagem num dos raros navios que a faziam<sup>30</sup>, como angariar fundos que lhe permitissem, enquanto aguardava o embarque, subsistir.

Sublinhe-se que as características da sua personalidade o impedem de cair em atitudes de prostração ou desânimo. Enquanto espera os documentos trabalha com os seus orientandos em Sintra (C-420916) e, aproveitando o maravilhoso cenário natural desta vila, dá longos passeios (C-430800?); e, apesar da sua instabilidade, faz todos os esforços para encontrar uma solução para a situação difícil em que estava Aniceto Monteiro (C-421207; C-421214; C-430128), contri-buindo decisivamente para a sua resolução (C-440412; C-450700?). É exemplo desta serenidade, e dum sentido de humor que sempre o acompanhou, a carta que do Aljube escreve a Bento de Jesus Caraça (C-430221).

Sem antecipar quaisquer conclusões, é importante que se frize dois outros traços marcantes do carácter de Beck, realçados pelas condições adversas em que viveu em Portugal desde Agosto de 1942 até à sua partida: o seu espírito de missão, missão científica, e a sua disponibilidade em contribuir de um modo activo para resolver situações de injustiça ou perseguição em que se encontravam outros cientistas. Aquele espírito de que estava imbuído era de tal forma forte que, mesmo relativamente mal tratado pelas instâncias oficiais do Estado Português, o leva a prestar contas de uma forma detalhada, junto do IAC, da sua missão em Portugal (C-430129a,b), recebendo, já na Argentina, uma resposta lacónica da parte desta instituição (C-430408). Quanto aos esforços a que não se

---

<sup>29</sup> «(...) Em regra, até chegarem a Portugal, os refugiados necessitavam de um visto de saída da Alemanha ou dos países ocupados, outro de entrada na “zona livre” francesa, um visto de trânsito espanhol, outro visto de trânsito português, um visto de entrada no país de destino, sujeito a quotas, e a passagem aérea ou marítima para o “Novo Mundo”» (PIMENTEL, 1995).

<sup>30</sup> «(...) as capacidades de transporte de passageiros civis por barco no Atlântico tinham-se tornado precárias, depois de os americanos terem cancelado em 1940 o tráfego marítimo civil transatlântico e somente 2 barcos espanhóis, 1 argentino e 1 chileno manterem a ligação entre a Europa e o Novo mundo (...)» (MÜHLEN, 1995).

poupava para resolver as situações difíceis, de perseguição e injustiça, de cientistas, são exemplos disso a sua preocupação com os casos de Pollaczek e António Monteiro.

É após a sua prisão que a polícia lhe fixa residência nas Caldas da Rainha, um dos locais de «residência fixa para os refugiados»<sup>31</sup>. Nessa vila termal de ambiente pacato, aguardando o embarque, continua a trabalhar, a interessar-se pela sorte das iniciativas que ajudara a nascer e a receber os seus orientandos (C-430310). Estão a chegar ao fim os dias portugueses deste físico sem fronteiras.

A estada de Beck em Portugal pode dividir-se em dois períodos: o primeiro, entre a chegada e o final da sua «autorização de residência», de 28 de Dezembro de 1941 a 31 de Julho de 1942, a sua condição é a de «cientista convidado do IAC na Universidade de Coimbra»; o segundo, entre esta última data e a saída para a Argentina no navio Cabo Hornos (29 de Março de 1943), na qualidade de refugiado a caminho da América do Sul. Talvez ainda se pudesse, em relação a Portugal, falar de um terceiro período: aquele em que, já na América Latina, a sua atenção e, no caso em apreço, a sua correspondência revelam interesse pelo que se passava neste país. Do primeiro período tratar-se-á no ponto seguinte, enquanto que aos segundo e terceiro não se reservará nenhum ponto específico, sendo narrados, de acordo com as circunstâncias, em todos os outros pontos do trabalho.

#### 4.1 Guido Beck em Coimbra

Em finais de 1941, o Instituto para a Alta Cultura, presidido pelo Prof. Celestino da Costa, já tinha a seu cargo os Centros de Física e de Matemática, em Lisboa, e recebera em Outubro o pedido, assinado por Ruy Luís Gomes, de criação de um outro Centro de Matemática, no Porto (GOMES, 1983). Em Coimbra existia um centro do IAC, Centro de Estudos de Física e Química (TAVARES, 1951: 33; Rev.FCUC, IX: 283), mas foi ao Laboratório de Física que se atribuiu o apoio financeiro para a estadia do físico austríaco na Universidade<sup>32</sup>. Na véspera da sua chegada, Guido Beck dirigia, desde 1937 e por incumbência do CNRS, os trabalhos de Física Teórica no «Institut de Physique Générale» (Faculdade de Ciências de Lyon) que funcionava sob a direcção do Prof. Max Morand;

---

<sup>31</sup> «(...) o governo viu-se obrigado, na Primavera de 1941, a distribuir os refugiados pelo país e, mais tarde, quando muitos, contra as prescrições oficiais, se radicaram secretamente em Lisboa, o governo viu-se obrigado a impor «residência fixa». Não se trata aqui duma detenção, mas sim da proibição de abandonar o local de permanência sem autorização. Em regra eram estâncias de férias, as quais, devido à guerra, tinham perdido o turismo. Os locais mais conhecidos eram a Curia, a Ericeira e as Caldas da Rainha» (MÜHLEN, 1995).

<sup>32</sup> «Laboratório de Física (...) 4000\$00 para custear um curso de física teórica» (*in* Rev.FCUC, X: 304)

quando da sua presença em Portugal, ele pertencia ainda a este Instituto (BECK, 1943a) e é através dele que recebe o convite para ir para a Argentina.

Beck não era o primeiro físico que perante o horizonte negro do avanço da horda nazi, e devido à sua ascendência judaica, demandara Portugal e, mercê dos contactos parisienses, tal como já foi referido, procurara Mário Silva. Já em 1940, Sergio de Benedetti<sup>33</sup> um italiano de origem judia que trabalhava no Instituto do Rádio de Paris, procurou instalar-se em Coimbra tendo aí permanecido por alguns meses. Da sua actividade ficou uma conferência feita no Laboratório de Física subordinada ao tema «Raios Cósmicos e Núcleo Atómico». A instituição universitária portuguesa era, no geral, avessa a mudanças, portanto pouco permeável à entrada destes homens provenientes de outras paragens e, nestes casos, portadores de «novidades». Mas Beck, na altura com 39 anos e com uma larga experiência de ensino em meios muito diversos, desde a União Soviética aos Estados Unidos da América, estava habituado a ambientes difíceis e diferentes. A sua conduta radicava em encontrar formas de ancorar a investigação num ensino vivo, aprofundado e em contacto com os problemas científicos novos, procurando, sobretudo, «contribuir para a construção de novos Sistemas Universitários, que, como afirmava, deveriam ser sólidos para se tornarem duradouros» (VIDEIRA, 1997) —é neste sentido que actuará em Portugal. A sua intervenção vai, no essencial, centrar-se no lançamento das bases do ensino da Física Teórica em Portugal, privilegiando as seguintes frentes de trabalho: estimular os jovens interessados a resolverem problemas novos (C-470106), problemas que devem ocupar o centro da actividade do seminário em Física —seminário que integrará obrigatória-mente o ensino desta disciplina; a promoção de um contacto mais íntimo entre os físicos experimentais e os físicos teóricos.

No estímulo aos jovens investigadores, Beck tomará nas suas mãos a orientação efectiva para doutoramento de dois assistentes, jovens na casa dos vinte e poucos anos, conseguindo, num ano da sua presença em Portugal (C-420916; C-430129), que eles desenvolvam trabalho de tal modo que um deles consegue fazer com sucesso, em 1945, o seu exame de doutoramento (C-451231); o outro fica com o trabalho praticamente concluído, não se apresentando a doutoramento por razões meramente burocráticas, como se verá no relato epistolar (C-440820). Será também procurado por um terceiro que, por motivos a seguir explicados, encaminha para uma escola no estrangeiro (C-420720) e,

---

<sup>33</sup> «Como a Universidade de Coimbra não lhe facilitou a sua permanência, seguiu para os Estados Unidos da América onde foi «Professor of Physics, Carnegie Institute of Technology» e escreveu, em 1964, a obra “Nuclear Interactions”» (SILVA, 1971: 152)

quando já se encontra com residência fixa, é procurado por um quarto candidato à sua orientação (C-430306; C-430307). Lançará as bases do primeiro Seminário de Física, neste caso teórica, a funcionar de uma forma contínua e organizada numa universidade portuguesa, preocupando-se em garantir que um outro físico teórico assuma a direcção, pois a curto prazo partirá para a América do Sul (C-420923). Elabora uma proposta de ensino da Física Teórica em Portugal (C-430216) cujos efeitos parecem ter sido nulos, esforçando-se por estabelecer, em todas as iniciativas, uma colaboração efectiva dos físicos experimentais, pois está muito atento à actividade destes (C-430224).

Pouco depois de chegar a Coimbra, ainda sem ter feito qual-quer apresentação pública dos seus estudos, nem ter iniciado o seu curso, limitando-se a estabelecer com Mário Silva um pro-grama de trabalho em Física Teórica (C-420226), este apresenta-lhe um seu assistente, José Luís Rodrigues Martins (1914-1994). Já enquanto estudante dos preparatórios de engenharia na faculdade de Ciências de Coimbra, este jovem, natural de Moçambique (na época uma colónia portuguesa da África Oriental), dera nas vistas pelo seu aproveitamento nas disciplinas de Física e Matemática (MARTINS, 1969). Mário Silva, em 1936, reconhecendo as suas qualidades, convida-o a licenciar-se em Físico-Químicas, abandonando as engenharias, com vista a dedicar-se à carreira de investigação científica na universidade. Em 1939, Rodrigues Martins ingressa como segundo assistente na Faculdade onde estudara e Mário Silva propõe-lhe como tema de pesquisa

«(...) o problema da “electro-afinidade dos gases raros” que lhe permiti-tiram estabelecer contacto com algumas das mais fecundas técnicas experimentais da Física Atómica (...) No entanto, dadas as dificuldades criadas pela Grande Guerra de 1939-45, no que se refere à aquisição de equipamento fundamental e material bibliográfico, abandonou em 1942 a investigação experimental, tendo-se orientado a partir de então para a investigação teórica (...) assim, sob a orientação do Professor Guido Beck, iniciou uma série de investigações sobre a Teoria da Difusão Anómala (...)» (MARTINS, 1969: 6).

Rodrigues Martins, de acordo com as suas próprias palavras, estaria fadado a seguir as pisadas do seu mestre, não fossem os condicionalismos da guerra e o aparecimento em Coimbra de um físico austríaco. É assim que Guido Beck encontra o seu primeiro estudante português que, como se verá, terminará com êxito, apesar de algumas vicissitudes, as suas provas de doutoramento (C-460707). Rodrigues Martins será o primeiro doutorado português em Física Teórica, e, até à década de sessenta, será o único. Beck, no seguimento dos trabalhos que, em França, fizera com Tsien, propõe-lhe tratar do problemas das forças nucleares perante os resultados obtidos pela espectroscopia nuclear

(HAVAS, 1995: 31). É dentro desta orientação que se inserem todos os trabalhos produzidos por Rodrigues Martins até à publicação da sua tese.

Com o apoio financeiro do IAC e iniciando o seu trabalho em Coimbra, Beck, talvez mercê das suas ligações parisienses, alarga as suas relações ao Centro de Física de Lisboa, onde, a partir de Fevereiro, é anunciado o seu curso «Introduction à la théorie des quanta». Integrado neste curso, mas antecedendo-o, os organizadores prepararam um conjunto de lições, onde quem assistisse teria a oportunidade de ouvir físicos e matemáticos discorrerem sobre matérias necessárias à compreensão do conteúdo daquilo que Beck irá tratar. E assim aconteceu. Em Janeiro falou-se sobre os seguintes temas (GM, 10, 1942): «As equações de Hamilton-Jacobi» (Veiga de Oliveira, matemático); «As expressões relativistas da energia cinética dum ponto material» (Marques da Silva, físico); «Elementos da teoria das matrizes» (Zaluar Nunes, matemático); «Espaço abstracto de Hilbert» (Na-tónio Monteiro, matemático); «Equação das cordas vibrantes» (Armando Gibert, físico); «Estudo dos polinómios de Legendre, Hermite, de Laguerre» (Mário de Alenquer, matemático).

Contudo, apesar da expectativa, e por motivos, à partida, alheios ao autor e ao Centro, o curso de Beck é impedido de se realizar. Esteve na origem deste impedimento (C-420217) o facto de o Instituto para a Alta Cultura, entidade que financiava o trabalho de Beck em Coimbra, não em Lisboa, achar que o curso em questão deveria ser feito na Universidade de Coimbra, onde Beck estaria colocado, inviabilizando a sua realização na capital (C-430608). Quem se deslocou ao anfiteatro do velho edifício da Escola Politécnica limitou-se a assistir ao desfiar das ferramentas de matemática e de física necessárias para o trabalho em Mecânica Quântica; o importante, as lições sobre esta nova disciplina da Física, não chegou a acontecer.

Nesta visita à Faculdade de Ciências de Lisboa, Armando Gibert, na altura assistente de Física e membro do grupo de Manuel Valadares do Centro, manifestou a Beck interesse em trabalhar com ele (C-430608). Contudo, a atitude do IAC, ao inviabilizar o seu curso porque era feito fora de Coimbra, pôs Beck perante os absurdos burocráticos da administração portuguesa: se estava em Coimbra parece que não poderia orientar alguém de Lisboa?! Assim, no sentido de salvaguardar a vontade do jovem investigador, como também a do Centro de Lisboa, poupando-os aos absurdos da acção do ministério, arranja-lhe uma alternativa, um contacto com um colega da Escola Politécnica Federal de Zurique (C-420720). Armando Gibert seguirá para esta cidade em meados de 1942, regressando ao

país em 1946 já doutorado (C-461119; GF, 8(4),1985:124). Se esta vinda à capital marcou negativamente Beck pelo seu primeiro embate com os caprichos da máquina administrativa do Estado português, também o deverá ter marcado positivamente pelas pessoas que aqui conheceu e que, algumas delas, o vão acompanhar de muito perto na sua estada em Portugal.

Ainda pouco conhecedor da realidade científica portuguesa (estava em Portugal há um mês), mas suficientemente perspicaz e dono de uma grande experiência de contactos com diferentes comunidades científicas e universitárias de outros países, Beck, pela sua participação nesta iniciativa, começou a ter elementos que lhe permitiram construir uma imagem mais precisa sobre o ambiente científico e universitário português, que se confinava a um círculo muito restrito. No anfiteatro secular da Politécnica, Guido Beck apercebeu-se que os físicos e matemáticos, embora de Centros diferentes, se uniam em todas as suas iniciativas: havia ali um grupo empenhado no trabalho científico, organizado, com iniciativa e com um forte espírito de unidade; havia jovens desejosos de aprender, como era o caso do Gibert. E, por esta iniciativa, e outras a que assistirá, pareceu-lhe que pontificavam Valadares e Monteiro<sup>34</sup>. Sem o saber, assistiu a uma demonstração simples do espírito do «velho Núcleo»: um catedrático do Porto deslocara-se a Lisboa na qualidade de mero assistente do curso. Deste modo, encontrou pela primeira vez Ruy Luís Gomes, iniciando-se entre eles, a partir daqui, uma colaboração a todos os títulos muito frutuosa. E talvez nessa mesma ocasião tenha conhecido outras personagens com quem, ao longo da sua permanência em Portugal, estabelecerá relações de amizade.

Guido Beck regressa a Coimbra, ao Hotel Avenida onde sem-pre se alojou. Prossegue os seus trabalhos com Rodrigues Martins que, a muito curto prazo, darão frutos (MARTINS, 1969: 10): uma comunicação em Junho, ao 5º Congresso da Associação Portuguesa para o Progresso das Ciências no Porto, intitulada «Interacção entre dois nucleões» e assinada só por R. Martins; e uma publicação, da responsabilidade de ambos, «Spin inversion processes and nuclear spectroscopy», no *Physical Review* (vol.62: 554). Retoma o trabalho com Mário Silva sobre a sua intervenção na Física Teórica. E prepara os seus cursos.

Em Março, Guido Beck dá o curso «Les éléments de la Chimie Quantique» (C-430129b) e, muito provavelmente, apronta um artigo que publicará na Revista da

---

<sup>34</sup> Dois investigadores que são tratados de uma forma particular na correspondência de Beck, sendo também aqueles que, além de Rodrigues Martins, prolongam o seu contacto epistolar até à década de cinquenta. A todos se aplicará a qualidade de exilados.



Faculdade de Ciências. No dia 21 deste mesmo mês inicia-se uma série de conferências da Faculdade de Ciências de Coimbra subordinadas ao título geral de «Introdução Física e Filosófica à Teoria dos Quanta» (*in* GM, 10, 1942). Neste curso colaboraram, além de Guido Beck, Diogo Pacheco de Amorim, Manuel dos Reis, José Vicente Gonçalves, Mário Silva, Couceiro da Costa, Almeida Santos, Jorge Gouveia, António Júdice, Rodrigues Martins e Magalhães Vilhena<sup>35</sup>. De acordo com o próprio Beck (C-430608) o curso foi interrompido em princípios de Junho, e o argumento para esta «sabotagem»(C-420607) residia no facto de a «Polícia Internacional» não estar na disposição de prolongar o seu visto para lá de 31 de Julho. Porque Beck, nos relatórios endereçados ao IAC (430129b), apresenta como uma das suas actividades, em Maio-Junho, o curso de «Introduction à la théorie des quanta» ministrado em Coimbra, pode assumir-se que as suas lições não foram sabotadas<sup>36</sup>. De qualquer modo, resta, como testemunho deste curso de Beck, a sua publicação na Revista da Faculdade de Ciências de Coimbra. De todos os participantes, além de Beck, só Vicente Gonçalves publicará a matéria da sua conferência (*in* Rev.FCUC, X(1), 1942).

Pela sua natureza, pelas matérias (da Física à Filosofia, passando pela Matemática) esta série de conferências foi preparada dentro do figurino já adoptado em Lisboa (exposição de matérias introdutórias à Mecânica Quântica), ao qual se juntou a novidade, isto é, a visão filosófica. Pelos professores envolvidos, por exemplo três Catedráticos de Matemática, percebe-se que Mário Silva procurou a forma de, num meio relativamente isolado e sem investigação, juntar alguns nomes importantes da Universidade de Coimbra para assim melhor se fazer ouvir pelas paredes dos velhos claustros. A Gazeta de Matemática, na notícia assinada sobre esta ocorrência, finaliza-a do seguinte modo: «O trabalho em grupo começa a generalizar-se em Portugal, o que revela consciência dos métodos modernos de organização do trabalho científico» (*in* GM, 10, 1942). Perante a particularidade da junção entre Física e Filosofia, um aspecto original no panorama universitário português, e, como oportunamente se verá, também perante os textos de Guido Beck, é-se obrigado a olhar esta iniciativa com maior atenção.

---

<sup>35</sup> Pacheco de Amorim, Manuel dos Reis e J. Vicente Gonçalves eram Professores Catedráticos de Matemática, António Júdice era Assistente da mesma disciplina; Mário Silva e João Almeida Santos eram Professores, respectivamente, Catedrático e Extraordinário de Física, enquanto Rodrigues Martins era Assistente da mesma disciplina; Ruy Couceiro da Costa e Jorge Gouveia eram Professores, respectivamente, Catedrático e Extraordinário de Química; Vasco de Magalhães Vilhena era Assistente de Filosofia da Faculdade de Letras.

<sup>36</sup> O que é corroborado por Mário Silva (SILVA, 1971: 153)

Mário Silva era um professor que, desde há anos, se interessava pela História da Ciência —a ele se ficou devendo a recuperação de grande parte do material do gabinete de física da universidade pombalina— e também pela Filosofia da Ciência<sup>37</sup>. Foi este último interesse que o levou a convidar um recém licenciado e jovem assistente de filosofia da Faculdade de Letras de Coimbra, Vasco de Magalhães Vilhena (1916-1993), a fazer, em Maio de 1940, uma conferência sobre «A unidade da ciência: um problema de filosofia científica» (SILVA, 1971:153)<sup>38</sup>. Na série de conferências agora em marcha quem é encarregue da parte filosófica é este mesmo conferencista: eis uma cumplicidade de interesses a que se associará Beck e, talvez, Rodrigues Martins que também não enjeitava enveredar por trabalhos no domínio da Filosofia da Ciência<sup>39</sup>. Esta atenção sobre as relações entre a Física e a Filosofia, Mário Silva devê-la-ia ter manifestado a Beck e se, na altura, não o fez, fá-lo-á mais tarde quando este já tinha abandonado a sua ligação à Universidade de Coimbra (C-420823d). Quanto à cumplici-dade de Beck é uma presunção que se assume com base na primeira parte do seu curso («O problema da Física Teórica») e que adiante será abordada.

O curso foi organizado do seguinte modo:

«A) *Introdução Física*.

- 1- O problema da Física Teórica.
- 2- Diferentes aspectos da Mecânica clássica.
- 3- Evolução da Electrodinâmica clássica.
- 4- Aparelhagem matemática da Teoria dos Quanta.
- 5- Mecânica Quântica. 6- Electrodinâmica Quântica.
- 7- Bases experimentais da Física Quântica;

B) *Introdução Filosófica*.

- 1- Ciência e epistemologia.
- 2- Conhecimento e realidade.
- 3- Espaço e Tempo.
- 4- Causalidade e determinismo.
- 5- Fundamento da Indução.
- 6- Razão e experiência» (*in* GM, 10, 1942).

---

<sup>37</sup> Cf. FITAS, RODRIGUES e NUNES, 2000.

<sup>38</sup> Magalhães Vilhena interessa-se tanto por este tema « (...)que, em Janeiro de 1940, concorre a uma bolsa de estudos do British Council a fim de realizar investigações na Universidade de Cambridge no domínio da epistemologia (...) A guerra impediu que este projecto se concretizasse (...)em 1941, publica um livro de trezentas e trinta páginas com o título *Unidade da ciência. Introdução a um problema* e que ostentava em epígrafe, na página do índice, a expressão: Dissertação para Doutoramento em Ciências Filosóficas na Universidade de Coimbra. Um doutoramento que não aconteceu (...)» (FITAS, RODRIGUES e NUNES, 2000: 481).

<sup>39</sup> Rodrigues Martins escreverá sobre Filosofia da Ciência nas páginas da *Vértice* (cf. FITAS, RODRIGUES e NUNES, 2000).

Mário Silva, em opúsculo que escreveu bastante mais tarde, diz que apenas se realizaram as lições dos quatro primeiros professores nomeados (SILVA, 1971:153); assim, pela organização exposta, poder-se-á deduzir que a sabotagem do curso deverá ter caído sobre toda a «Introdução Filosófica» e os dois últimos capítulos da *«Introdução Física»*. Guido Beck foi poupado, parcialmente, à sabotagem, encarregando-se de tratar «O problema da Física Teórica» e a «Mecânica Quântica», cabendo-lhe, deste modo, a abertura do ciclo de conferências com o primeiro título. Como Vicente Gonçalves se encarregou da «Aparelhagem matemática da Teoria dos Quanta» (C-420220), resta a informação de que Diogo Pacheco de Amorim e Manuel dos Reis falaram sobre «Diferentes aspectos da Mecânica clássica» e «Evolução da Electrodinâmica clássica».

Ao reler-se o texto da sua conferência de abertura, primeiramente publicado num número habitual da Revista da Faculdade de Ciências e posteriormente editado em separata (C-420823a), rapidamente nos apercebemos de qual é a cumplicidade aceite por Beck sobre um certo cunho filosófico a imprimir às conferências. Nesta conferência o autor dá, não só a perspectiva do que entende por Física Teórica, como também o conteúdo daquilo que considera ser o programa de investigação actual desta disciplina (este é o seu contributo filosófico). Falava um praticante do ofício e para os portugueses, aquilo que ouviam, era de facto uma novidade:

«Je veux d'abord insister sur deux notions qui se présentent: celle de l'ensemble des mesures expérimentales dans un certain domaine de phénomènes et celle de l'image théorique qui permet de classifier ces phénomènes et de prédire, qualitativement ou quantitativement, le résultat d'une mesure dans ce domaine (...) Le but de la physique théorique est de décrire l'ensemble des phénomènes physiques. Nous ne savons pas si une telle description est réalisable et quelles difficultés s'y opposeront (...)» (BECK, 1942b).

Eis uma novidade, não só para os físicos matemáticos, mais habituados à conjectura sobre os utensílios matemáticos do que à sua adequação à realidade experimental que, na generalidade, não conheciam, como também para os físicos, se não para todos pelo menos para alguns (C-430224), que olhavam para a pesquisa experimental sem a perspectiva duma descrição fenomenológica de conjunto, limitando-se, em muitos casos, a coleccionar dados. Para Beck um fenómeno físico traduzia-se em medidas experimentais redutíveis, na sua expressão, às três grandezas essenciais, espaço, tempo e massa (qual o motivo porque Beck não considerou a massa, de acordo com o princípio de Mach, como uma grandeza derivada?). E, sem procurar tirar grandes ilações filosóficas, até

porque Beck recusa fazê-lo no seu texto<sup>40</sup>, as suas palavras exprimem, assumindo o primado do empírico, uma visão unificadora da física:

«La façon dont le problème de la physique théorique se pose, nous laisse immédiatement comprendre le fait- à première vue étonnant- que plus le développement de la recherche théorique avance et étend le domaine des problèmes auxquels la théorie est applicable, plus le système de la physique théorique devient simple et homogène, malgré la hétérogénéité et la multiplicité apparente des phénomènes eux-mêmes. Nous pouvons nous attendre à ce que le prochain développement de notre discipline, destiné à éclaircir les phénomènes de la physique nucléaire et de la radiation cosmique nous conduise, lui aussi, à une simplification des lois fondamentales plutôt qu'à une complication» (BECK, 1942b).

Mas os físicos não estavam perto dessa situação unificadora, embora esse fosse, na opinião de Beck, o programa de investigação da Física Teórica, daí que a sua conferência fosse conduzida no sentido de mostrar que

«(...) le développement de la théorie de la relativité et de la théorie des quanta n'a, jusqu'ici, en rien changé la situation générale rencontrée déjà en physique classique : Nous ne disposons pas d'une image théorique applicable à l'ensemble des phénomènes physiques» (BECK, 1942b).

O objectivo do físico teórico é a procura dessa síntese; terminando Beck com a constatação de que o esquema matemático desta disciplina se traduz ainda num conjunto de contradições «intrínsecas» cuja solução deve ser o objectivo do físico que nela trabalha. Toda a sua exposição é trabalhada em torno da ideia de que as grandezas físicas são expressas por relações onde intervêm constantes e que o número destas deveria, na teoria perfeita, reduzir-se ao número das grandezas fundamentais: esta seria a síntese perfeita. A forma simples, clara e muito despojada, sob o ponto de vista matemático, de apresentar o tema deve ter constituído uma novidade para os ouvintes deste curso. Curiosamente, em toda a correspondência recebida por Beck não há quaisquer ecos críticos a este seu escrito.

Após as exposições de Pacheco de Amorim, de Manuel dos Reis e de Vicente Gonçalves, Beck vai apresentar ao auditório o seu curso de «Mecânica Quântica». Duma forma sucinta as matérias tratadas são: a cinemática quântica e o seu «esquema» matemático; as relações de incerteza e a dinâmica quântica; os diferentes aspectos da mecânica quântica, alguns exemplos; o caso limite da mecânica clássica; a teoria das perturbações; o spin do electrão; o problema de vários corpos; a estatística quântica; a teoria do electrão de Dirac; a natureza do electrão; os integrais da equação de Dirac; a

---

<sup>40</sup> «(...) nous n'étudierons pas l'importante question, quels pourraient être les phénomènes qui, suivant cette définition, ne sont pas des phénomènes physiques» (BECK, 1942b).

cinemática do electrão relativista; as propriedades da transformação das equações de Dirac (BECK, 1942b). Sobre este seu curso, «Introduction à la Theorie des Quanta», Beck, já da Argentina, escreveu:

«I have transformed the introduction into an exact proof that it has no physical sense to say that the electron has a double nature. Bohr will not feel too happy, because his whole philosophy is based on this point (...)» (HAVAS, 1995:31).

E o curso «Introdução Física e Filosófica à Teoria dos Quanta» é interrompido.

Em Fevereiro, após a sua aventura lisboeta já relatada e de novo em Coimbra, Guido Beck recebeu da parte de Ruy Luís Gomes um convite para ir ao Porto fazer uma conferência, esclarecendo este que o convite será feito pela Faculdade (C-420217), o que era uma forma de assegurar a Beck que não passaria pelo vexame de o IAC lhe proibir de novo a sua intervenção. Em Março Beck, por motivos de ida ao consulado francês no Porto, visita Ruy Luís Gomes nesta cidade (C-420305) e contacta com a actividade do já Centro de Matemática do Porto, chegando ao conhecimento com Almeida e Costa e Sarmiento de Beires<sup>41</sup>, como se depreende da troca de correspondência posterior (C-420605). E é ao professor de Física Matemática do Porto que Mário Silva se verá forçado a recorrer no sentido de resolver a situação de Beck, quando no início de Junho lhe é feito saber que a sua «autorização de residência» no país não será prolongada e o curso é, dessa maneira, «sabotado» (C-420701). E não sendo prolongada não havia como recorrer ao IAC para lhe continuar a pagar a estadia. No seguimento deste contacto, Ruy Luís Gomes tentará, junto do Ministério da Educação Nacional, que a «autorização de residência» de Beck seja dilatada, sob o pretexto de a Faculdade de Ciências do Porto o pretender contratar para leccionar um curso, mas debalde (C-420701).

Em Junho, Guido Beck deslocou-se ao Porto para participar no 5º Congresso da Associação Portuguesa para o Progresso das Ciências, onde apresentou uma comunicação intitulada «L'influence du spin sur les collisions nucléaires» (C-430129b). Estreitam-se as suas relações com Ruy Luís Gomes e, desagradado com a solução que a Universidade de Coimbra lhe oferece para custear a continuação da sua presença nesta universidade, além de descrente das possibilidades de êxito da mesma, prontifica-se a iniciar em 30 de Junho (C-420426), na Faculdade de Ciências do Porto, o curso «Introduction à la Théorie des quanta» (C-430129b). É também do final de Junho que data o primeiro contacto com

---

<sup>41</sup> Rodrigo Sarmiento de Beires (1895-1975), licenciado em Matemática pela Universidade do Porto, discípulo de Francisco Gomes Teixeira e, posteriormente, formado em Engenharia Electrotécnica pela Universidade de Liège, foi, desde 1927, catedrático de Mecânica Racional da Faculdade de Ciências do Porto, acumulando na Faculdade de Engenharia da mesma universidade a docência de Electrotecnia.

Fernandes de Sá (C-420808), assistente da secção de Matemática, que, encaminhado por R.L.Gomes, iniciará sob orientação de Beck, o seu trabalho de doutoramento em Mecânica Quântica Relativista; Fernandes de Sá virá a ser o seu segundo orientando efectivo. Será a partir desta sua intervenção no Porto, e com um orientando, que no espírito de Beck se começa a desenhar a necessidade de por de pé um seminário de Física Teórica. Cursos e conferências davam informação, mas era preciso estar a par do «estado da arte»; só trabalhando sobre problemas concretos, em aberto, se podiam entusiasmar alguns jovens e viver com eles a prática da investigação. Talvez fosse este o seu plano para Coimbra, mas a realidade trocara-lhe as voltas. Talvez no Porto fosse possível...

Em finais de Julho abandona o Porto e, após uma fugaz passagem por Coimbra, vem para Lisboa onde aguarda a documentação, proveniente do Instituto de Lyon, que lhe permite continuar em Portugal na situação de refugiado em trânsito para a Argentina (C-420808), optando por passar uns tempos em Sintra (C-420910). Nesta vila recebe a visita e a companhia de outros amigos, como é o caso de Bento de Jesus Caraça (C-420823a) e dos seus pupilos, «lapins» como carinhosamente os apelida (C-421214), com quem trabalha (C-420823c; C-420916). Em Lisboa manteve-se em contacto com Valadares e com investigadores que trabalham no seu laboratório, como é o caso de Carlos Braga (C-420823a). No tratamento da burocracia junto das autoridades competentes, enquanto refugiado, Beck foi fortemente apoiado por António Luís Gomes, irmão mais velho de Ruy Luís Gomes e alto funcionário do Estado (C-420910; C-420916); Beck não regateará agradecimentos a este homem que, conhecedor da máquina do Estado português, lhe prestou um grande apoio (C-430328; C-430701). É também neste período que vai recebendo notícias das tentativas feitas por Ruy Luís Gomes, e que se revelarão infrutíferas, de trazer para Portugal F. Pollaczek, um engenheiro que trabalhava nos correios de Berlim. Muito provavelmente em Julho, quando estivera no Porto, Beck, interessado e preocupado pela sorte de Pollaczek, recomendara-o a R.L.Gomes (GOMES, 1983) no sentido de o trazer para Portugal. Era uma forma de o salvar de uma situação difícil e, ao mesmo tempo, permitir que este país beneficiasse dos conhecimentos deste engenheiro.

É na segunda metade de Setembro que, de um modo concreto, se começa a desenhar o que virá a ser o Seminário de Física Teórica no Porto (C-420923). O convite a Proca para dirigir este seminário terá partido de uma acção conjunta de Beck e Valadares (C-420923). Proca só chegará a Portugal no Verão seguinte (C-430800?). As dificuldades

próprias do país devido quer à ineficiência burocrática da máquina do Estado quer ao desinteresse dos seus governantes em apoiar estas iniciativas, sobretudo se elas envolviam a presença de estrangeiros habituados a atmosferas mais desenvolvidas e livres, e ainda a guerra que assolava toda a Europa além Pirenéus, já faziam prever este atraso. Daí que, em Agosto, Ruy Luís Gomes já procurasse saber quais os planos de Beck para Outubro (C-420823b), isto é, seria intenção daquele que o Seminário de Física Teórica iniciasse o seu funcionamento sob a orientação provisória de Beck. Beck aceitou esta incumbência e substituirá Proca enquanto este não chega (C-420910).

Beck mostra todo o seu empenho na organização deste seminário, o que é atestado pela sua missiva para o Catedrático do Porto (C-420923), onde é palpável o seu entusiasmo pelo resultados alcançados, apesar das condições difíceis: o trabalho de Rodrigues Martins estava praticamente terminando, aguardando-se os resultados experimentais que seriam fornecidos pelo Prof. Morand (responsável pelo Instituto em Lyon onde Beck trabalhara)<sup>42</sup>. Mostra-se satisfeito com a solução financeira encontrada e mantém a sua esperança nesta iniciativa, talvez pelo conhecimento que já tinha de alguns elementos do grupo do Centro de Estudos Matemáticos do Porto, em particular o seu orientando, como ainda pela interacção existente entre este Centro e os físicos experimentais do Centro de Física de Lisboa; relembre-se o que um dos visitantes de Beck em Sintra, Carlos Braga, assistente da Universidade do Porto<sup>43</sup>, escreveu:

«Quando em 1942 pensei em realizar um trabalho de física experimental para o meu doutoramento depressa concluí que, a não ser saindo do país, só em Lisboa encontrava os meios necessários para o iniciar com algumas probabilidades de êxito. Efectivamente, no Centro de Estudos, anexo ao Laboratório de Física, o ambiente de trabalho era animador» (BRAGA, 1950: 90).

Em Outubro Beck estará no Porto. Coimbra já pertencia ao passado, a sua ligação efectiva com esta Universidade confinava-se à orientação de Rodrigues Martins e no final deste ano a revista da Faculdade de Ciências dará a conhecer o balanço da sua actividade<sup>44</sup>.

<sup>42</sup> «Monsieur J.L.Rodrigues Martins (...) Je vous confirme très volontiers, que j'ai donné connaissance des résultats de votre travail à M. Professeur Max Morand, Directeur de l'Institut de Physique Générale da la Faculté des Sciences de l'Université de Lyon (France). Je lui ai également transmis les tableaux que vous m'aviez donnés à ces fins (...) Voilà ce qu'il m'écrit à ce sujet (...)— je vous remercie très vivement des résultats extrêmement précieux que vous avez eu l'amabilité de me communiquer : nous les examinerons avec l'espoir d'en faire sortir des expériences qui pourront vous guider vers de nouveaux progrès théoriques (...)» (MARTINS, 1969 : 13).

<sup>43</sup> Carlos Braga realizou o seu trabalho experimental no Centro de Estudos de Física de Lisboa entre Agosto de 1942 e Dezembro de 1943 sob a direcção de Manuel Valadares.

<sup>44</sup> «O antigo professor da universidade de Praga, Dr. Guido Beck, cuja autoridade no campo da física teórica é universalmente conhecida, exprimiu o desejo de vir a Portugal par consultar livros e revistas da faculdade de Ciências de Coimbra, antes de seguir para a América. Graças ao patrocínio da faculdade, esse desejo foi

## 4.2 O Seminário de Física Teórica no Porto

Como já se escreveu Ruy Luís Gomes foi um dos elementos cooptados pelos fundadores, no Outono de 1936, do «Núcleo de Física, Matemática e Química» para participar nas suas iniciativas e desde então ficara completamente contagiado por esse entusiasmo e transformara-se num fidelíssimo «compagnon de route» das iniciativas dos bolseiros em institucionalizar a prática da investigação científica nas universidades portuguesas. Que Ruy Luís Gomes tome a palavra:

«Estas realizações [refere-se à actividade de Matemática em Lisboa] e os contactos directos que havíamos tido com António Monteiro traduziram-se em novos estímulos para a nossa própria actividade, sempre dominada pelo desejo de criar no Porto uma Escola de Matemática (...) Foi num tal clima e animados por um grande optimismo que em 11 de Outubro de 1941 nos dirigimos ao Prof. Celestino da Costa, Presidente do IAC (secção de Ciências), formulando o pedido para a criação do Centro de Estudos Matemáticos do Porto» (GOMES, 1983).

O «espírito do Núcleo» estendera-se por iniciativa deste professor, e de alguns dos seus colaboradores, à Faculdade de Ciências do Porto: em Novembro de 1941, a convite da Secção de Matemática desta Faculdade, deslocou-se ao Porto para proferir duas conferências o Prof. Manuel Valadares que falou sobre «Novos elementos da família do Rádio»; em 22 e 23 de Janeiro de 1942, Aurélio Marques da Silva, também do Centro de Física da Faculdade de Ciências de Lisboa, falou sobre «A materialização da energia» e «A fissão dos núcleos» (MORGADO, 1992). Os físicos experimentais são convidados a falar sobre temas da sua actividade de investigação, não no Laboratório de Física da Universidade do Porto, mas na Secção de Matemática. Eis um clima que abre os matemáticos, da física matemática, ao contacto com a física dos laboratórios, atitude essencial para abordar a Física Teórica, e chama à colaboração os físicos, muito poucos, que também estariam interessados nesta aventura.

Desde 1933 que Ruy Luís Gomes tinha a seu cargo, no Porto, a disciplina de Física Matemática, e conservá-la-á até à sua demissão compulsiva, e os seus interesses científicos situavam-se, entre outras matérias, em questões matemáticas relacionadas com a Mecânica Quântica (C-420226). Como matemático vivamente interessado também em Física Matemática, estava, na mesma faculdade, Almeida e Costa, responsável pela

---

satisfeito; e com o auxílio das espécies bibliográficas aqui existentes, o eminente professor pode concluir os seus trabalhos de investigação citados noutros lugares deste relatório. A estadia do prof. Guido Beck, não só proporcionou a organização de um curso de introdução à teoria dos quanta, que vão ser mencionados em lugar próprio, mas facultou ainda ao assistente Lic.<sup>do</sup> José Luís Rodrigues Martins, a iniciação em trabalhos no domínio da mecânica quântica» (*in* Rev.FCUC, X: 299).



disciplina de Mecânica Celeste e que fizera em Berlim um estágio em Física Teórica<sup>45</sup>. Nos cursos a que assistira na Universidade de Berlim, no ano lectivo de 1938-39, há que destacar o de Max Köhler, «Aplicações da Teoria dos Grupos à Mecânica Quântica» e, no seu regresso a Portugal, Almeida e Costa vem francamente entusiasmado com os trabalhos em Álgebra e as suas aplicações à Física (AMARAL, 1994: 44); Almeida e Costa é considerado como o grande introdutor dos estudos em Álgebra na licenciatura em matemática em Portugal. São estes dois homens os grandes entusiastas das aplicações matemáticas à Física Teórica:

«(...) para Almeida e Costa, a cadeira de Mecânica Celeste e, para mim, a de Física Matemática foram as oportunidades que tivemos de iniciar os alunos em temas que estávamos realmente a estudar» (GOMES, 1983).

Em 14 de Fevereiro de 1942, numa carta dirigida ao Presidente do Instituto para a Alta Cultura, Ruy Luís Gomes explicitara a intenção de «A secção de matemática da Faculdade de Ciências do Porto» tomar a iniciativa de «organizar uma série de cursos especiais e conferências de Introdução à Física Teórica» (MORGADO, 1985:18). O pormenor da data, tendo em conta a data da primeira carta que escreveu para Beck (17 de Fevereiro), poderá permitir a conjectura de que a iniciativa proposta ao IAC deverá ter sido motivada pela sua presença no seminário «proibido» de Beck em Lisboa. É também por esta altura que se iniciam dois cursos livres: um sobre «Teoria Geral dos Grupos e Introdução à Física Quântica», dado por Almeida e Costa, e o outro versando «Cálculo Tensorial, Introdução à Relatividade e à Teoria da Elasticidade», da responsabilidade de Manuel Gonçalves Miranda (MORGADO, 1985).

É notória a existência de um grupo que, em torno de Ruy Luís Gomes e acompanhando a actividade dos físicos experimentais em Lisboa, estava interessado em lançar-se nos estudos em Física Teórica. A presença de Beck, em especial o curso que em Julho dera no Porto e a proposta que recebera para orientar um assistente da secção de matemática, Fernandes de Sá, deverá ser a causa efectiva, como já se explicitou, para o arranque do Seminário de Física Teórica integrado no Centro de Estudos Matemáticos da Universidade do Porto.

É assim que no dia 10 de Outubro de 1942 abriu na Faculdade de Ciências da Universidade do Porto o Seminário de Física Teórica cujos trabalhos:

---

<sup>45</sup> Ver QUADRO II (p.38).

«(...) serão orientados pelo dr. Guido Beck e neles tomarão uma parte activa os assistentes Fernandes de Sá (F.C.do Porto) e Rodrigues Martins (F.C. de Coimbra). Na primeira sessão, o Dr.Guido Beck traçará o plano dos trabalhos a realizar e iniciará uma exposição sobre o estado actual da Teoria das Forças nucleares. Numa das sessões seguintes contamos com uma comunicação do Prof. Dr. Mário Silva, da Universidade de Coimbra.

Damos a seguir um esquema do funcionamento deste Seminário que reunirá todos os sábados, de tarde, num dos anfiteatros da Secção de Matemática.

A) Comunicações sobre trabalhos de actualidade.

B) Trabalhos a realizar.

1) Trabalhos de investigação.

a) sobre a transformação relativa das grandezas quânticas -- por Fernandes de Sá

b) Sobre a influência da inversão do spin sobre a difusão dos neutrões pelos núcleos -- por Rodrigues Martins.

2) Trabalhos bibliográficos:

Uma memória sobre a teoria quântica dos campos, a publicar por Dr. G.Beck (...)»  
(*in* GM, 12, 1942).

Pelo que se sabe, a actividade do seminário prossegue ao longo do último trimestre de 1942:

«O Dr.Guido Beck tem-se ocupado de alguns sistemas de operadores diferenciais que se deduzem das equações de Dirac; um desses sistemas está em relação com o fenómeno da produção dos pares; outro constitui uma generalização das equações de Maxwell no vazio (...) O Assistente Rodrigues Martins, da Faculdade de Ciências de Coimbra, fez uma exposição sobre os dados experimentais que servem de base às modernas concepções das forças nucleares (...) O Prof. Ruy Luís Gomes fez uma comunicação sobre a noção de probabilidade em Mecânica Quântica (...) O Assistente Fernandes de Sá, da Faculdade de Ciências do Porto, estuda o problema do comportamento das grandezas físicas relativamente a uma transformação de Lorentz, segundo a teoria de Dirac» (*in* GM, 13, 1943).

Pela descrição sumária apontada, Beck orientou o seminário para a Teoria Quântica dos Campos e desta sua actividade saiu um artigo sobre «a possibilidade de uma cinemática geral» que conduzisse a «uma interpretação das equações de Dirac que determinariam uma cinemática suficientemente geral para ter em conta os movimentos mecânicos das partículas e as propriedades electromagnéticas do espaço-tempo» (BECK, 1943b), trabalho que também foi publicado na Série de Publicações do Centro de Estudos Matemáticos do Porto (GOMES, 1992) .

A bolsa de Beck, dada pelo IAC para esta iniciativa, terminou em Dezembro (parece que a História se repetia...). Beck encontrava-se doente e atormentado pela sorte da sua mãe e pela dificuldade em obter fundos que lhe permitam adquirir a passagem para a Argentina (C-421214). Contudo, atravessando mais uma vez um período de dificuldades

quanto ao seu futuro, necessidade de partir («Esperemos que eu possa escapar ainda a tempo desta Europa») e incerteza de apoio financeiro para a viagem, permanece no Porto até meados de Fevereiro de 1943. Continua a trabalhar com os seus orientandos e prepara um relatório da sua actividade científica que envia ao Presidente do IAC, acompanhado por uma carta onde não se exime a dar uma nota de missão cumprida: «Creio, assim, poder deixar-vos considerando como terminado o trabalho pelo qual estive encarregue em Portugal» (C-430129a). Sobre a orientação de doutoramento de Fernandes de Sá, declara que este já chegou a resultados originais e está em condições de começar a redigir a sua tese de doutoramento (C-430129a). Os resultados a que chegara este seu colaborador vão permitir a Guido Beck, num artigo publicado numa revista internacional<sup>46</sup>, referir-se às «Fernandes de Sá's Relations» como um resultado apresentado na sua tese publicada no Porto em 1943, publicação que efectivamente não acontecera. Só na Argentina Beck ficará inteirado do desfecho do trabalho de investigação de Fernandes de Sá (C-480406).

A partir de Dezembro, toda a correspondência enviada e recebida por Beck dá nota da sua grande preocupação com a grave situação que atravessa António Aniceto Monteiro. Beck fará tudo o que está ao seu alcance para contribuir de um modo eficaz para a resolução deste problema. Ao aproximar-se a data do regresso a Lisboa, e consequente saída de Portugal, Beck propor-se-á para fazer algumas conferências de Física na capital (C-430128); através do contacto que mantém com Bento de Jesus Caraça, este faz os preparativos para que o seu auditório seja no Instituto Superior Técnico (C-430210). Tudo estava aprontado para meados de Março, todavia o regime de residência fixa a que Beck fica sujeito a partir de finais de Fevereiro gorará este seu aparecimento em público para falar de «Uma contradição nos princípios da Física Clássica».

Sem a presença de Beck, e até à chegada de Proca, o Seminário permanece em actividade e, em Fevereiro, Fernandes de Sá faz duas comunicações sobre alguns dos seus resultados de investigação:

«Na 1ª comunicação, *Microestrutura geométrica do espaço-tempo electrónico*, definiu-se uma geometria do espaço métrico que no caso de 4 dimensões permite uma nova interpretação das equações de Dirac da cinemática do electrão (...) Na 2ª comunicação, *Transformações relativistas das grandezas quânticas*, estudou-se o comportamento das formas bilineares  $\psi^* M \varphi$  e das matrizes  $\psi^* M \Phi$  em rotações espaciais e em transformações de Lorentz gerais; (...)» (in GM, 14, 1943):

<sup>46</sup> Guido Beck, 1945, Field Concepts in Quantum Theory, *Review of Modern Physics*, 17 (2 e 3), Ap-Jul. (in MORGADO, 1992: 37).

Enquanto aguarda a sua vinda para Lisboa, anunciada para 20 de Fevereiro e com uma paragem prévia em Coimbra (C-430205), a fim de tratar do seu embarque, Beck preparou um documento sobre «o ensino universitário da Física Teórica» que deverá ter sido discutido com Ruy Luís Gomes. Um documento que submete ao conhecimento de Mário Silva e Pacheco d'Amorim (C-430216), em Coimbra, e, posteriormente, de Manuel Valadares e António da Silveira (C-430219), em Lisboa. Este documento seria o coroar da sua missão em Portugal e vai legá-lo aos seus companheiros de profissão, e amigos, portugueses para que possam, como corolário das suas vontades, pôr de pé uma estrutura de ensino em Física Teórica na universidade portuguesa. Estava em causa, no fim das contas, o seu grande objectivo: preparar novos Sistemas Universitários capazes de fazer face aos desafios da ciência contemporânea. Uma estrutura que, por um lado, apoiasse o trabalho experimental dos Físicos portugueses, o que é traduzido nas palavras «[Manuel Valadares] Pretende sobretudo sublinhar a necessidade de formar teóricos para os laboratórios de física experimental» (C-430224) ; e que, por outro lado, concatenasse não só o interesse que alguns matemáticos da nova geração manifestavam nos desenvolvimentos da Física Teórica —estes pertenciam sobretudo ao Centro do Porto— como também o de outros investigadores com os quais ia tomando conhecimento, como é o caso de Telles Antunes (C-430224). E deste seu plano fazia parte um fortíssimo empenho em garantir uma boa direcção para o Seminário: pelo seu conhecimento do ambiente científico português e pela sua experiência na Europa, esta era a condição sem a qual tudo estiolaria rapidamente; é neste sentido que deverão ser entendidas as suas palavras ao presidente do IAC, «estou convencido que conseguireis [IAC], com o seu concurso [dos doutorandos sob sua orientação] e do professor A. Proca, organizar um excelente Centro de Investigação no domínio da Física Teórica» (C-430129a).

Para Beck e para Ruy Luís Gomes este projecto de ensino da Física Teórica deveria contar com «a colaboração das três Universidades», de modo a ter o alcance de um plano nacional «e portanto com condições de êxito» (C-430217). Sabemos do resultado das suas consultas em Lisboa, só no caso dos contactos com Valadares, mas Beck é omissos quanto ao resultado dos seus contactos em Coimbra (C-430224). Cumprindo em Lisboa a penúltima etapa da sua estada em Portugal —a última é a sua prisão no Aljube e consequente passagem pelas Caldas da Rainha em regime de residência fixa— Beck assiste a mais um acontecimento importante, e assaz significativo, no muito reduzido meio científico português, o nascimento da *Portugaliae Physica*.

Ainda nas Caldas da Rainha, já marcado como personagem claramente indesejável, e prolongando o recorte «kafkiano» da sua passagem pelo Aljube, Beck recebe o pedido de um Catedrático de Coimbra para que apoie a orientação científica de um Assistente de Física Matemática de Coimbra (C-430306). O Assistente é António Júdice que, portador dessa missiva, o visita no seu exílio e que será o último candidato português a orientando de Beck. No final de 1943 e na revista da Faculdade de Ciências da Universidade de Coimbra, ao apresentar o balanço da actividade de investigação científica da Física referente ao ano lectivo de 1942-43, escrevia-se:

«Encontra-se paralisada a actividade de investigação experimental, em consequência das condições criadas pela guerra. Pode porém prosseguir a actividade no campo de Física teórica: os estudos sobre Mecânica Quântica sob a direcção do Prof. Guido Beck, continuaram a ocupar os Professores e Assistentes do Grupo de Física, com a colaboração do Assistente encarregado da regência de Física Matemática, Ldo António Libânio Gil Júdice». (in Rev.FCUC, XI:326).

De Portugal, Guido Beck sai a 29 de Março.

Do Porto, desde Abril até ao Verão, recebe, já na Argentina, notícias que não são muito animadoras: adoece Ruy Luís Gomes... Sem Beck e com Ruy Luís Gomes ausente do anfiteatro, o seminário pára— restava aguardar pela chegada de Proca (C-430800?).

Alexandre Proca, acompanhado da família —mulher e filho— chega a Portugal em Julho de 1943, e, após umas férias, junto ao mar, nos arredores de Lisboa rumo ao Porto (C-430800?). É com alguma apreensão que Ruy Luís Gomes dá a notícia da chegada de Proca a Beck, pois sabe que a bolsa do IAC durará uns escassos três meses, isto é, terminará no final de Dezembro... e o seminário deverá prolongar-se até ao fim do ano lectivo (C-430825). Proca inicia o trabalho para que fora convidado em Outubro de 1943, na Universidade do Porto; o Seminário de Física Teórica funcionará à sextas-feira e reabre com duas sessões da responsabilidade de próprio Proca, assim:

«A primeira teve lugar no dia 29 de Outubro e o Professor Dr. Proca tratou de *Les particules élémentaires* (Position du problème. Méthodes d'attaques. Principes fondamentaux des mécaniques nouvelles); a 2ª sessão realizou-se no dia 5 de Novembro e versou o tema *Rappel de quelques notions fondamentales de Mécanique Ondulatoire*» (GM, 17, 1943).

Perante os participantes, Alexandre Proca define do seguinte modo os objectivos do Seminário:

«O objectivo deste Seminário é duplo:

1º- Estudar memórias e obras de Física Teórica Moderna de maneira a fornecer uma base de partida para a elaboração de trabalhos originais;

2º- Desenvolver não somente entre os estudantes, mas também num público especializado, tão numeroso quanto possível, o gosto pelas investigações físicas, de modo a criar um clima favorável e um meio propício às descobertas no domínio mencionado.

Para atingir este duplo objectivo sem que, ao mesmo tempo, se dispersassem esforços, decidiu-se agrupar este ano os trabalhos do Seminário à volta de um assunto central, suficientemente vasto para oferecer interesse geral, mas preciso bastante para evitar toda a dispersão.

O assunto escolhido foi um dos que dominam actualmente as investigações de Física Teórica, a saber: o estudo teórico geral das partículas elementares.

Foi estabelecido um programa, dividindo este estudo em sessões, cada uma das quais comporta a análise de uma memória, dum grupo de memórias ou mais geralmente de uma questão, permitindo examinar sucessivamente os diversos aspectos do problema geral. Esse programa prevê tanto a análise de memórias de natureza teórica, como conferências de conjunto sobre os resultados de ordem experimental destinados a precisar as bases físicas dos fenómenos de que se estuda a teoria.

As memórias inscritas no programa devem ser estudadas e expostas no seminário, tanto quanto possível pelos próprios alunos; estas exposições devem ser seguidas duma discussão ou de observações críticas que permitem situar a questão no quadro dos conhecimentos já adquiridos e apreciar as suas relações com outros problemas, exercício duma importância capital para todos os que se dedicam ao trabalho de investigação» (*in* GM, 18, 1944).

De acordo com o plano feito pelo seu director, devem destacar-se, como centrais, os objectivos seguintes: primeiro, escolha de um tópico, evitando assim a dispersão, reforçando o trabalho colectivo do grupo ou, no mínimo, a interacção entre os diferentes elementos do grupo, todos participam no mesmo tema, todos sabem do que se fala; segundo, desenvolver actividade científica pioneira na Física Teórica, encontrar os problemas novos a estudar, o que seria garantido pelo estudo de memórias «de maneira a fornecer uma base de partida para a elaboração de trabalhos originais»; terceiro, e porque o que se pretende é trabalhar em Física Teórica, o conhecimento dos «resultados de ordem experimental destinados a precisar as bases físicas dos fenómenos de que se estuda a teoria» é fundamental quer para a construção de novos modelos quer para novas pistas experimentais que estes sugiram; quarto, aprofundar o nível de conhecimentos teóricos necessários para atacar os problemas em exame.

E dentro do tema agregador, primeiro objectivo a ser respeitado, «Estudo teórico geral das partículas elementares», Proca analisou duas memórias originais, cumprindo o segundo objectivo do seminário: a primeira de Belifante, «On the spin angular momentum of mesons»; a segunda, de Iskraut, «Bemerkungen zum Energie -Impuls- Tensor der Feldtheorien der materie». Coube a Carlos Braga, um participante do seminário e recém

chegado do Centro de Física da Universidade de Lisboa onde desenvolveu, entre Agosto de 1942 e Dezembro de 1943, investigação experimental, cumprir, pela primeira vez, o terceiro objectivo: apresentar uma análise dos dados experimentais mais recentes, tratando do tema «As partículas elementares do ponto de vista experimental» (GM, 18, 1944). Este participante, tendo trabalhado sob a orientação de Manuel Valadares, apresentará a sua tese de doutoramento na Universidade do Porto em 1 de Agosto de 1944. A colaboração de Carlos Braga evidencia bem duas características importantes a que já se aludiu: o carácter nacional do seminário (Ruy L. Gomes) e a relação entre físicos teóricos e experimentais nos laboratórios de física experimental (Manuel Valadares).

A colaboração de Sarmiento de Beires garantirá o quarto objectivo enunciado, proferindo quatro lições sobre os seguintes temas:

- «I- Equações de Lagrange, princípio de Hamilton e princípio da menor acção.
- II- Teoria de Hamilton-Jacobi.
- III- Equações de Maxwell, propagação das ondas.
- IV- Trem de ondas, velocidade de grupo, onda associada a um corpúsculo; destinadas a completar os conhecimentos de mecânica clássica de uma parte do auditório, indispensáveis ao desenvolvimento ulterior dos trabalhos» (*in* GM, 18, 1944).

Esta foi a actividade no último trimestre de 1943, mas depressa começaram os sobressaltos: em 31 de Dezembro terminou a bolsa do IAC para Proca. Mudaram-se as personagens, mas a História repete-se. A partir de então Proca e a sua família subsistirão com muitas dificuldades à custa de uma bolsa da Fundação Rockefeller (C-440200?) e de fundos privados arrançados por Ruy L. Gomes (C-440225). Apesar de tudo, o trabalho continuou, progredindo até meados de 1944. De Coimbra, foram convidados para participarem no seminário Mário Silva, Rodrigues Martins e António Júdice, mas, tanto quanto se sabe, não apareceram (C-440200?). As lições de Proca até ao final do ano lectivo de 1944 versarão os temas:

- «1. Les particules observables en Mécanique quantique —
- 2. Les probabilités en Mécanique Ondulatoire. Équations du mouvement —
- 3. équations générales des particules élémentaires. Introduction de la Relativité. Schéma de Dirac.
- 4. Propriétés générales des particules représentées par des équations type Dirac et analogues.
- 5. Électron de Dirac. Aspect ondulatoire
- 6. Negatons. Cas d'un champ. Positons
- 7. Électrons libres. Compléments.
- 8. Électrons. Symetries. Ondes planes. Idée de la seconde quantification
- 9. Ondes planes. Matérialisation. La seconde quantification.
- 10. Coup d'œil général sur les particules élémentaires et leurs lois de mouvement.

11. Étude théorique des mésons. Mésons à fonction d'onde scalaire et réelle. Application à la seconde quantification.
12. Mésons de spin nul. Quantification (...)» (*in* GM, 20, 1944).

E as lições de Beires, também durante o mesmo período, orientar-se-ão para:

- «1. Grupos de ondas e a noção de velocidade de grupo. Aplicação ao estabelecimento das equações da Mecânica Ondulatória de Schrodinger
2. Relações de incerteza de Heisenberg. Quantificação da energia do átomo de Hidrogénio. Confronto com os resultados da teoria de Bohr-Sommerfeld.
- 3, 4, 5, 6. Os princípios da Mecânica Quântica:
  - A) Observáveis.
  - B) Operadores.
  - C) o método da Mecânica Quântica. Associação de operadores às grandezas físicas. Noção de probabilidade de estado.
  - D) O espaço vectorial a  $n$  dimensões e o espaço de Hilbert.
  - E) A significação da função de onda segundo Schrodinger e a hipótese das probabilidades de Born.
  - F) Compatibilidade das grandezas físicas e permutabilidade dos respectivos operadores. Valores médios. Os valores médios e a mecânica clássica» (*in* GM, 20, 1944).

Um dos participantes deste seminário é um jovem estudante de matemática da Faculdade de Ciências<sup>47</sup> que abandonara os estudos de engenharia «atraído pela actividade do CEMP» (GOMES, 1983) e é um verdadeiro entusiasta da Física Teórica, F. Soares David (C-430800?). Este, integrado numa lição de Proca, apresentou uma comunicação sobre «Quantificação do átomo de Hidrogénio na teoria de Dirac». Fernandes de Sá, ocupado com a sua situação profissional na Faculdade de Ciências do Porto, não interveio no seminário e abandona temporariamente o seu trabalho na tese (C-440820).

Durante todo o ano de 1944 a situação de Proca foi muito difícil, ao ponto de, em carta para Beck (C-440225), já estar a pensar seriamente em aceitar o convite que lhe tinham feito de Londres (BUSTAMANTE, 1999). O ambiente do Porto também não ajudava, era uma cidade agradável, mas, ao fim de algum tempo, tornava-se «monótona»; e Proca, num tom confidencial, acrescentava: felizmente que Monteiro e família estavam no Porto, caso contrário «ce serait très difficile»(C-440225). Mas, apesar deste excelente convívio, a situação de Monteiro alarmava de tal modo Proca que, na mesma carta, escrevia, «é uma situação extraordinária da qual não encontrei equivalente em nenhum país minimamente civilizado». Decididamente, o Estado português tinha o condão de

---

<sup>47</sup> «Pela primeira vez, desde 1940, foi atribuído o Prémio Nacional Dr. F. Gomes Teixeira que "se destina a galardoar, mediante concurso, o melhor trabalho de matemáticas puras elaborado em cada ano lectivo por um aluno de qualquer estabelecimento de ensino universitário". Coube a honra a Fernando Soares David, autor de "Sobre a comutabilidade de operadores com espectro contínuo" e à Faculdade de Ciências do Porto, de que era aluno o premiado» (*in* GM, 26, 1945).



surpreender pela negativa os cientistas que nos visitavam, sobretudo pela forma como desperdiçava as oportunidades que surgiam de se desenvolver cientificamente e, em particular, como desprezava o contributo de pessoas qualificadas. Em Abril, a carta que Proca dirige a Beck é um autêntico grito de socorro em prol de Aniceto Monteiro, instando para que este, já na Argentina, se empenhe na solução do problema (C-440410).

Sobre o seminário, Proca confessa a Beck que a situação é complicada, falta «chama»: os assistentes são «numerosos e permanentes», mas é necessário insuflar-lhes «um pouco de ânimo». Constatava também que o trabalho de Fernandes de Sá não avançava, mas que tinha um bom aluno, o Fernando Soares David. Este jovem estudante pode ser considerado a grande revelação do seminário, de tal modo que

«Propusemo-lo em 1946, concluída a sua licenciatura, para uma bolsa no estrangeiro, a fim de se preparar para o doutoramento em Física Teórica, especialmente Física Nuclear (...) Infelizmente, tal bolsa nunca lhe foi concedida e Fernando David teve de dar um rumo diferente à sua vida (...)» (GOMES, 1983).

Conhecido este desfecho para a pretensão de Soares David estudar no estrangeiro, Proca que, no ano de 1946, está em Paris, regressado de um Congresso Internacional de Física em Cambridge, lamenta a sua sorte, mas insiste para que este lhe escreva no sentido de reatarem o estudo de problemas que tinham iniciado nos tempos da sua direcção no seminário do Porto (C-460810). Era uma última tentativa de não perder um jovem português interessado pela prática da física teórica, mas tudo se precipita para um «final triste».

O trabalho de Proca no Porto até ao final do ano lectivo de 1943-44 produziu efeitos que, como se acabou de descrever, a curto prazo se perderam, mas da sua passagem por Portugal ficou ainda o seu artigo publicado na *Portugaliae Physica*<sup>48</sup> e os seminários que em Maio fez em Lisboa:

«Centro de Estudos de Física da F.C.L.

Além das habituais reuniões do Centro onde se expõem e discutem os resultados obtidos nos trabalhos em curso, realizou em fins de Maio o prof. A.Proca três conferências subordinadas aos títulos seguintes:

- 1- Sur la notion de particule élémentaire, constituant ultime de la matière.
- 2- Sur une nouvelle particule élémentaire.
- 3- Quelques remarques sur la notion de temps physique.

São de notar a elegância e clareza de exposição e a elevação com que foram tratados os assuntos indicados» (*in* GM, 19,1944).

---

<sup>48</sup> A. Proca (1944). Sur un nouveau type d'électron, *Portugaliae Physica*, 1(2), 59-66.

Ainda em Abril de 1944 Proca apresentou na Faculdade de Ciências do Porto um relatório onde, além do balanço do trabalho efectuado, expõe, com base num ano de actividade, algumas medidas a tomar no ano lectivo seguinte:

«No que diz respeito à actividade futura, pode dizer-se que é uma pena que um trabalho que começou bem e, ainda por cima, continua, apesar de dificuldades de ordem vária, seja interrompido. Os trabalhos de investigação dos alunos que já a iniciaram ou daqueles que a pretendam começar, poderão continuar com aproveitamento ao longo de uma parte das férias, pois estes alunos não dispõem sempre de tempo livre durante o ano escolar

Para o ano 1944/45, a experiência já feita mostra que seria indicado duplicar as sessões: uma série que constituiria, em termos próprios um curso elementar destinado a dar a conhecer aos alunos as bases da disciplina vasta em que se tornou actualmente a mecânica ondulatória, —e uma segunda série, de um nível mais elevado, cujo objectivo seria a preparação para a investigação propriamente dita através do estudo de trabalhos recentes.

Nesta segunda série estudar-se-ia, no seguimento das exposições desse ano, o problema das partículas elementares com vista à sua aplicação aos problemas das forças nucleares.

Podia completar-se assim um conjunto de conhecimentos que levariam os alunos suficientemente longe para que pudessem empreender, por eles próprios, pesquisas originais, objectivo inicial da actividade do Seminário de Física Teórica tal como foi concebido no princípio» (PROCA, 1988).

As medidas propostas por Proca pressupunham, obviamente, a manutenção da direcção do seminário em mãos de quem desenvolvesse investigação e estivesse, portanto, a par do que se fazia de mais recente e actual, como era o seu caso ou de Beck. Mas Proca deixa Portugal, com destino a Inglaterra, em Julho de 1944, após «um ano de seminário no Porto com sessões regulares todas as semanas desde Outubro de 43 até Junho de 44» (C-440820) e a sua saída implica a ausência de direcção científica do seminário. Nesta situação o seminário corre o risco de terminar. Fernandes de Sá empenha-se em arranjar apoios para a presença de um novo Director e pede ajuda a Beck (C-440820). Mas não há forma de substituir Proca e o seminário entra em dificuldades. Contudo, a actividade persiste e é assim que se assiste, no ano de 1945 em Lisboa, por iniciativa da Sociedade Portuguesa de Matemática, a um conjunto de conferências, sob o tema geral de «Alguns aspectos actuais da Matemática na Física»:

«RUY LUÍS GOMES, Espaço de Hilbert e Mecânica Quântica, em 23 de Maio.

ANTÓNIO ALMEIDA E COSTA, Álgebra e Mecânica Quântica; Os grupos de representação em Quântica -Representação das Álgebras, em 25 e 26 de Maio.

LUÍS NEVES REAL, Teoria da Medida e Mecânica Clássica; Transformações que conservam a medida -ergodicidade e transitividade métrica, em 28 e 29 de Maio.

ALFREDO PEREIRA GOMES, Topologia e ergodicidade; A definição de uma topologia -Os automorfismos ergódicos como sub-conjunto dum grupo topológico, em 31 de Maio e 1 de Junho.

RUY LUÍS GOMES, Teoria da medida e Mecânica Quântica, em 2 de Junho» (*in* GM, 24, 1945).

Nesse mesmo ano de 1945, após muitas dificuldades académicas, faz-se em Portugal, na Universidade de Coimbra, o primeiro doutoramento em Física Teórica e quem o consegue é um discípulo de Beck, Rodrigues Martins. Foi uma aventura encontrar um Júri que lhe apreciase a tese e isto só foi possível graças à disponibilidade de Cyrillo Soares; logo após a tese Rodrigues Martins é obrigado a aguentar uma carga lectiva semanal de largas dezenas de horas (C-460707)... Matava-se à nascença o primeiro físico teórico, academicamente reconhecido, produzido numa escola portuguesa. É pela percepção nítida do que iria acontecer que se pode compreender o desabafo azedo de Valadares para Beck sobre Mário Silva (C-451213).

Sem a direcção de um físico teórico, o grupo do CEMP retornava às suas origens e retomava a Física Matemática. Sabemos que em 1946, mesmo com Ruy Luís Gomes na prisão, Fernandes de Sá, José Sarmento, Carlos Braga e Almeida e Costa tentam manter vivo o seminário, mas o seu espírito está longe dos objectivos enunciados por Proca. O «final triste» já tinha sido anunciado e o pano cairá definitivamente com as decisões do Conselho de Ministros de Junho de 1947 tomadas ao abrigo do Decreto-Lei nº 25317 de 13 de Maio de 1935 que já servira para afastar Abel Salazar, Aurélio Quintanilha, Rodrigues Lapa e Sílvio Lima. Nos finais de 1946 tinham sido demitidos Bento de Jesus Caraça e Mário de Azevedo Gomes (Instituto de Agronomia) e em 1947 são forçados a abandonar as universidades, entre outros, algumas das personagens principais desta história: Ruy Luís Gomes, Mário Silva, Manuel Valadares, Aurélio Marques da Silva, Armando Gibert e Celestino da Costa que fora presidente do IAC.

E como último acto desta aventura da «Física Teórica» em Portugal nos anos quarenta, talvez se possa considerar o artigo publicado, em Janeiro de 1947, por Fernando Soares David no segundo número da Gazeta de Física, onde, pugnando pela introdução desta disciplina nas universidades portuguesas e citando as conclusões do documento elaborado por Guido Beck sobre o ensino desta disciplina, escrevia:

«Era, no entanto, possível montar rapidamente no nosso país uma organização eficaz de investigação em Física Teórica, principalmente naqueles ramos onde se dispensa um contacto muito estreito com o laboratório. É certo que seria uma organização provisória, mas sem dúvida de grande alcance.

(...) Os que sabem, como nós, como foi desaproveitada a preciosa colaboração dum investigador da envergadura do próprio Guido Beck, bem como a de tantos outros cientistas que as circunstâncias criadas pela guerra nos ofereciam, não podem deixar de duvidar seriamente da possibilidade imediata duma solução para o problema da Física Teórica, mesmo duma solução provisória como esta» (DAVID, 1947).

Todavia, esse desperdiçar de oportunidades, essa miopia em não aproveitar muitos cientistas que em fuga passavam por Portugal e o seu desprezo pelo avanço do conhecimento científico, tinha a ver, sobretudo, com as opções ideológicas do governo, já que, mesmo em anos de guerra, se fizeram sentir as vozes incómodas dos que clamaram publicamente por uma maior atenção à investigação científica, enquanto condição necessária para o progresso e modernização do país.

### BIBLIOGRAFIA CITADA:

- AMARAL, Elsa Maria Alves de Sousa, 1994, *The Introduction by António Almeida e Costa of Algebra into Portugal*, M.Sc.Thesis, University of Birmingham.
- BARRETO, António e Maria Filomena MÓNICA (coord), 1999, *Dicionário de História de Portugal*, (vols VII, VIII e IX), Lisboa, Figueirinhas.
- BECK, Guido, 1942b, Introduction à la théorie des quanta, *Rev. Fac. Ciências de Coimbra*, X(2).
- BECK, Guido, 1943a, *Curriculum vitae*, Cópia existente na FAS.
- BRAGA, Carlos, 1950, À memória do Professor A. Cyrillo Soares, *Gazeta de Física*, vol.II(4), Outubro.
- COSTA, A. Celestino, 1934, *A Junta de Educação Nacional*, Lisboa.
- COSTA, A. Celestino, 1939, *O problema da investigação científica em Portugal*, Coimbra, Lisboa.
- CUNHA, Norberto, 1998, *Génese e Evolução do Ideário de Abel Salazar*, Lisboa, Imprensa Nacional-Casa da Moeda.
- DAVID, Fernando Soares, 1947, A Física Teórica no ensino superior da Física, *Gazeta de Física*, I(2), 41-43.
- FITAS, A.J.S, Marcial. E. RODRIGUES, M. Fátima NUNES, 2000, *A Filosofia da Ciência no Portugal do século XX*, in Pedro Calafate (dir.), *História do Pensamento Filosófico Português*, (vol.5, tomo II), Lisboa, Editorial Caminho, 421-582.
- GOMES, Alfredo Pereira, 1992, *A comunidade matemática portuguesa e a investigação na década de 40*, in *Edição comemorativa do cinquentenário do Centro de Matemática do Porto*, Porto, INIC- Centro de Matemática do Porto, 49-65.
- GOMES, Ruy Luís, 1938, *Teoria da Relatividade Restrita*, Lisboa, Publicações do Núcleo de Matemática, Física e Química
- GOMES, Ruy Luís, 1983, Tentativas feitas nos anos 40 para criar no Porto uma escola de Matemática, *Boletim da SPM*, 6, Out.

- HAVAS, Peter, 1995, The Life and Work of Guido Beck: the european Years: 1903-1943, *An. Acad. bras. Ci.*, 67 (Supl.1), 11-36.
- MARTINS, J.L. Rodrigues, 1969, *Curriculum Vitae*, Luanda.
- MASCARENHAS, J. Mário e PEREZ, Ilda (org.), 1997, *Catálogo da Exposição Movimento matemático 1937-1947*, Lisboa, Câmara Municipal de Lisboa
- MÜHLEN, Patrik von zur, 1995, Portugal, itinerário de fuga, *Vértice*, 69, 11-15.
- MORGADO, José, 1985, Ruy Luís Gomes, Professor e Companheiro, *Boletim da SPM*, nº8.
- MORGADO, José, 1992, *No cinquentenário do Centro de Matemática do Porto*, in *Edição comemorativa do cinquentenário do Centro de Matemática do Porto*, Porto, INIC-Centro de Matemática do Porto, 1-48.
- PIMENTEL, Irene Flunser, 1995, Refugiados entre portugueses (1933-1945), *Vértice*, 69, 102-111.
- SALAZAR, Abel, 1938, O matemático e filósofo António Monteiro, *Sol Nascente*, 27, 13.
- SALGUEIRO, Lúcia, 1978, Vida e obra de Manuel Valadares, *Gazeta de Física*, vol.VI,2-12.
- SANTIAGO, Maria Raquel, 2001, *Mário Silva a obra de um professor*, Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Física na Universidade de Évora, Évora.
- SILVA, Mário A. da, 1971, *Elogio da Ciência*, Coimbra.
- SILVEIRA, António da, 1976, *Recordando António Sérgio*, in *Homenagem a António Sérgio*, Lisboa, Academia das Ciências de Lisboa-Instituto de Altos Estudos.
- SOARES, A Cyrillo, 1937, *Possibilidades de cooperação portuguesa na construção da física moderna*, Coimbra, Coimbra Editora, Lda.
- TAVARES, Amândio, 1951, *O Instituto de Alta Cultura e a Investigação científica em Portugal*, vol I, Lisboa.
- VALADARES, Manuel, 1940, Recordações do Laboratório Curie, *O Diabo*, 279.
- VALADARES, Manuel, 1950, O Laboratório de Física da FCL, *Gazeta de Física*, vol.II(4), 93-106.
- VIDEIRA, António Augusto Passos, 1997, O arquivo Guido Beck e a HISTÓRIA DA FÍSICA TEÓRICA em Portugal, *Gazeta de Física*, vol. 20(4), 7-12.

Jornais e Revistas Mencionados:

Revista da Faculdade Ciências da Universidade de Coimbra (Rev.FCUC)

Gazeta de Matemática (**GM**).

## Os *Principia* de Newton<sup>1</sup>

### 1. Introdução

Isaac Newton nasceu em Woolsthorpe no dia de Natal de 1642, exactamente no mesmo ano em que morreu Galileu Galilei, filho de um agricultor próspero do Lincolnshire que morrera três meses antes do nascimento do seu único filho. Órfão de pai e já herdeiro dos seus bens, educado pela avó materna na mansão que lhe deixara o pai, separa-se da mãe que, após três anos de viuvez, casara de novo e vai viver com o seu novo marido um padre da igreja anglicana, *Bachelor of Arts* por Oxford, que lhe deu mais três filhos. Esta separação dura 11 anos, pois Hannah Ayscough regressa após nova viuvez e, junto do filho, influencia decisivamente a sua educação. O pai do jovem Isaac era um agricultor bem estabelecido, analfabeto, que, por casamento se ligou a uma família da baixa nobreza, os Ayscough; foi um irmão da mãe, o reverendo William Ayscough, em tempos aluno de Cambridge, que teve, junto da irmã, um papel importante no aconselhamento sobre a orientação dos estudos do seu sobrinho. A frequência do ensino superior iniciou-se no ano de 1661 quando entrou para o *Trinity College* de Cambridge na qualidade de *sub-sizar*, em 1665 obtinha o diploma de *Bachelor of Arts*.

Diversos *Cadernos de Notas* do seu tempo de estudante que se conservam na Biblioteca de Cambridge, dão uma ideia do percurso das suas reflexões. Contactou com os trabalhos de Kepler e de Euclides, leu os *Diálogos* de Galileu bem como a *Geometria* e os *Princípios* de Descartes, estudou a *Arithmetica Infinitorum* de John Wallis, anotou os trabalhos de Boyle e Hooke. Em 1665, acompanhado de livros importantes, abandona Cambridge e vai para a sua terra natal, fugindo da peste que assola a Inglaterra e obriga a fechar muitas instituições públicas. Estuda, lê e escreve. Grande parte dos manuscritos produzidos nesses dois anos estão depositados na Biblioteca da Universidade de Cambridge<sup>2</sup>.

Com menos de 25 anos e em menos de dois anos, na solidão dos campos do Lincolnshire, o jovem Newton encetou uma revolução nos domínios da matemática, da óptica e da física. Anos mais tarde, a propósito da controvérsia em torno da prioridade na criação do cálculo diferencial e integral, o próprio Newton recorda:

«No princípio do ano de 1665 encontrei o método das séries aproximativas e a Regra para reduzir qualquer binómio de qualquer ordem a uma série desse tipo. Em Maio do mesmo ano determinei o método das tangentes (...) em Novembro estava na posse do método directo das fluxões e em Janeiro do ano seguinte já tinha a Teoria das Cores e no Maio seguinte já tinha acesso ao método inverso das fluxões. E no mesmo ano comecei a pensar na extensão da gravidade à órbita da Lua e (depois de ter encontrado uma forma de estimar a força com a qual um globo em revolução dentro de uma esfera pressiona a superfície de uma esfera) a partir das regras de Kepler sobre o período de revolução dos Planetas que se

---

<sup>1</sup> Parte deste texto constitui a base de exposição da 6ª LIÇÃO do 1º Curso Livre de «HISTÓRIA DA CIÊNCIA» (7 de Março de 2006) e baseia-se em dois artigos já publicados: Fitas, Augusto J. Santos, 1996, *Os Princípios de Newton, alguns comentários (Primeira parte, a Axiomática)*, Vértice, 72, 61-68; Fitas, Augusto J. Santos, 1996, *Os Princípios de Newton, alguns comentários (Segunda parte, a Gravitação)*, Vértice, 73, 97-102.

<sup>2</sup> São os designados «Manuscritos Adicionais» [Add MS].

encontram na proporção de sesquiáltero<sup>3</sup> das suas distâncias a partir do centro das órbitas, deduzi que as forças que mantêm os Planetas nas suas órbitas devem estar como o inverso dos quadrados da sua distância ao centro em torno dos quais efectuam a sua revolução; e comparei a força necessária para manter a Lua na sua órbita com a força da gravidade à superfície da Terra e encontrei que se equivaliam de muito perto. Tudo isto aconteceu nos anos da peste de 1665-1666. Pois nessa época, eu estava na flor da idade da descoberta e pensava sobre Matemática e Filosofia mais do que em qualquer outra época a partir daí» (in WESTFALL, 1996: 143).

Como refere o seu biógrafo, Richard Westfall, parece ter sido desta passagem, bem como da história da maçã, que nasceu o célebre mito dos *Anni Mirabilis* de Newton associado à sua estada em Woolsthorpe. Sobre a história da maçã não há quaisquer testemunhos que a atestem, parece que a sua origem resulta de uma passagem escrita por Conduitt<sup>4</sup>

«No ano de 1666 abandonou de novo Cambridge... para voltar para casa de sua mãe no Lincolnshire e um dia que meditava no jardim, ocorreu-lhe que a força da gravidade (responsável pela queda da árvore para o chão de uma maçã) não se limitava a uma certa distância da terra mas essa força dever-se-ia estender a muito mais longe do que habitualmente se pensava. Porque não tão longe como a lua pensou para consigo próprio e se assim fosse deveria influenciar o seu movimento e talvez mantê-la na sua órbita, e ainda por cima começou a calcular qual seria o efeito dessa suposição (...)» (in WESTFALL, 1996: 154)

Regressado a Cambridge em 1667, em Outubro de 1669 Newton toma posse da cátedra lucasiana<sup>5</sup> de matemática que tinha sido fundada em 1664 e ocupada pela primeira vez por um dos seus mestres de matemática, Isaac Barrow, que se demitira exactamente em 1669. Newton ocupará esta cátedra até 1695, altura em que troca Cambridge por Londres. Enquanto catedrático, o regulamento da Universidade exigia que desse uma aula por semana em cada "período lectivo", sendo obrigado a rever e corrigir os textos de dez (ou mais) lições pertencentes a cada "período" e que, depois, na sua versão final, eram obrigatoriamente depositadas na Biblioteca (COHEN, 1978: 302). Assim, através da Biblioteca da Universidade podem, pelos manuscritos depositados, conhecer-se as lições de Newton ao longo do seu magistério de quase trinta anos e que se distribuem da seguinte forma: anos 1670-2, ensina óptica; anos 1673-1683, ensina aritmética e álgebra; anos 1684-5, ensina mecânica, o correspondente ao Livro I dos Principia; em 1687, lecciona sobre «Sistema do Mundo»; não há quaisquer outros registos das lições de Newton até ao ano em que abandona Cambridge (COHEN, 1978: 302).

Seguindo a pista dos seus *Anni Mirabilis*, passando pelas lições de Cambridge verificamos que, primeiro, é pela óptica que Newton inicia a sua obra científica, em seguida passa à Matemática ou à apresentação da sua *Teoria das Fluxões* e, por último, dedica-se à mecânica racional dos *Principia*. Em 1672 é nomeado membro da *Royal Society* em consequência dos seus trabalhos sobre Óptica: a apresentação publica, em carta ao

<sup>3</sup> Proporção referente a duas quantidades, das quais uma contém a outra uma vez e meia. [Nota do autor]

<sup>4</sup> John Conduitt, casado com a sua sobrinha Catarina e que recolheu vários depoimentos de Newton já no fim da sua vida, é considerado o primeiro biógrafo de Newton.

<sup>5</sup> Cátedra criada com o donativo de Henry Lucas.

secretário da *Royal Society* (Henry Oldenburg), publicada nos *Philosophical Transactions*, da sua Teoria das Cores e a proposta de um novo telescópio; começam aqui as suas polémicas que o deixam quase sempre fortemente deprimido. Huyghens pronunciou-se sobre os estes trabalhos do jovem Newton: refere o «*maravilhoso telescópio do Senhor Newton*», mas sobre a teoria escrevia ao secretário da Royal Society,

«No que diz respeito à nova teoria do Senhor Newton a propósito da luz e das cores, parece-me bastante engenhosa; mas é necessário ver, se ela é compatível com todas as Experiências» (in TURNBULL, 1959: I-135).

Embora os seus primeiros trabalhos sejam dedicados à Óptica, o livro *Opticks* é o último a ser publicado e sê-lo-á em 1704. Se as aulas seguinte são sobre matemática, também é de 1676 que data a troca de correspondência com Leibniz, por intermédio de Oldenburg, em torno das matérias relacionadas com o calculo diferencial e integral, reunidas na obra já escrita, *De Methodis Serierum et Fluxionum*, e que só será publicada postumamente. Por último há a escrita dos *Principia* que será pela primeira vez publicado em 1687. Entre meados da década de setenta e meados da década seguinte há os anos de «silêncio científico», os anos em que mergulhou na alquimia, na teologia e na exegese bíblica.

A redacção dos *Principia* parece ter-se iniciado em 1684 por ocasião de uma visita que Halley fez a Newton em Agosto desse mesmo ano, a pretexto de uma conversa havida entre ambos em Janeiro desse mesmo ano. O relato deste encontro é feito por DeMoivre com base no que lhe contara o próprio Newton:

«Em 1684 o Dr Halley foi visitá-lo em Cambridge, depois de algum tempo de convívio, o Dr. perguntou-lhe o que pensava que seria a Curva a ser descrita pelos Planetas supondo a força de atracção em direcção ao Sol variando inversamente com o quadrado da sua distância a ele. Sir Isaac respondeu de imediato que seria uma Elipse, o Doutor cheio de alegria & estupefacção perguntou-lhe como é que ele sabia, porque, disse ele, já a tinha calculado, Sir Isaac procurou no meio dos seus papéis mas não encontrou o cálculo, contudo prometeu fazê-lo de novo & então enviar-lho-ia...» (in WESTFALL, 1996: 403)

Alguns meses mais tarde Edmund Halley recebeu um pequeno tratado, *De motu*, do qual existem várias cópias e versões — tendo-se perdido o original — depositadas na Biblioteca de Cambridge. Este texto constitui o primeiro esboço dos *Principia*.

Em Junho de 1686 o manuscrito definitivo do primeiro Livro dos *Principia* deu entrada na tipografia já com o *Imprimatur* da *Royal Society*. A impressão do segundo e terceiro Livros inicia-se no mês seguinte. Em 7 de Julho de 1687, Halley escreve a Newton anunciando-lhe que os *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* estão prontos...

## 2. Introdução aos *Principia*, uma visão de conjunto



Ainda em vida do seu autor os *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (*Principia*) foi alvo de três edições: Londres, 1687; Cambridge, 1713 [reimpresso em Amsterdam nos anos 1714 e 1723]; Londres em 1726. Todas estas edições diferem uma das outras na «*escolha da linguagem, no conteúdo técnico e nas posições filosóficas expressas*» (COHEN, 1978: vii). O trabalho exegético sobre a obra magna de Newton ainda hoje é objecto de aturado estudo por parte dos especialistas. Escritos numa forma dita geométrica, isto é, na forma de um sistema hipotético-deductivo, os *Principia* constituem a primeira exposição sistemática, e rigorosa sob o ponto de vista matemático, da compreensão científica do Mundo. No prefácio da primeira edição o autor dá uma ideia clara do seu propósito:

«(...) ofereço esta obra como os princípios matemáticos da filosofia, pois todo o tema da filosofia parece consistir no seguinte -- dos fenómenos do movimento investigar as forças da natureza e, então, destas forças demonstrar os outros fenómenos; e com este propósito são apresentadas as proposições gerais do primeiro e segundo livros. No terceiro livro dou um exemplo disto na explicação do Sistema do Mundo; pois, pelas proposições matematicamente demonstradas no primeiro livro, no terceiro eu derivo dos fenómenos celestes a força da gravidade através da qual os corpos são atraídos para o Sol e para diversos planetas. Então destas forças, usando outras proposições matemáticas, deduzo o movimento dos planetas, dos cometas, da lua e do mar (...)»<sup>6</sup>(PRINCIPIA[TA]: XVII)

Os *Principia* são constituídos por três livros, precedidos do que se pode chamar uma introdução. Nesta estabelecem-se as bases do sistema matemático (geométrico), isto é, apresentam-se as definições, os axiomas e alguns corolários que constituem a base de todas as Proposições que se seguem no Livro I (*Sobre o Movimento dos corpos* — [On Motion of Bodies]) e seguintes. Neste livro, ou primeira parte, dos *Principia*, Newton estabelece, com base nas três leis de Kepler que descrevem o movimento dos planetas em torno do Sol, a

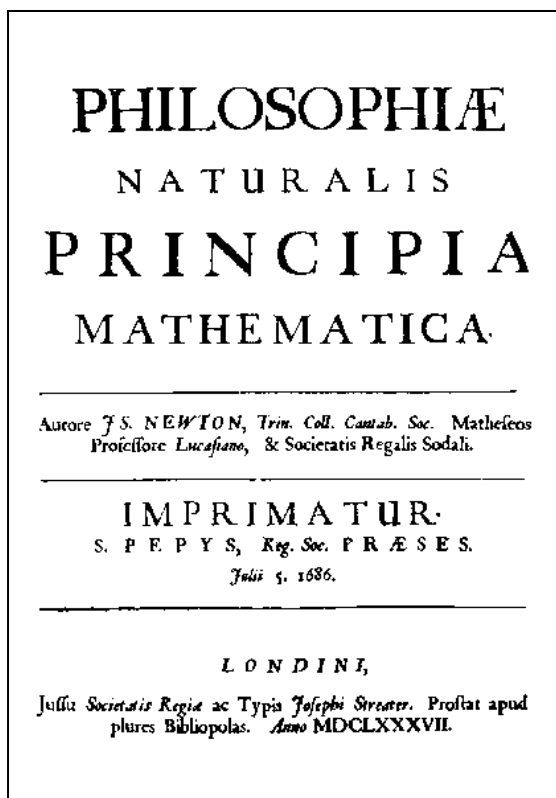


Fig.3- Folha de rosto de um exemplar da primeira edição dos *Principia*.

<sup>6</sup> A edição dos *Principia* que utilizamos, corresponde à primeira tradução em língua inglesa feita por Andrew Motte sobre a última edição em idioma latino, publicada no ano de 1726, ainda em vida de Newton e por ele revista. De ora em diante, toda a referência a esta edição será, simplificada, indicada por PRINCIPIA, a que se seguirá o número da página. A tradução de parte das citações é da responsabilidade da Dr<sup>a</sup> Olga Gonçalves, onde actuámos como revisor científico, contudo outras são da nossa inteira responsabilidade; neste último caso a referência será indicada por PRINCIPIA[TA].

força que seria responsável por este tipo de movimento, demonstrando também a proposição recíproca: só uma força deste tipo pode ser responsável pelo movimento descrito pelas leis enunciadas pelo astrónomo polaco.

Muitos dos enunciados das Proposições do Livro I começam pela expressão «*Num espaço vazio de resistência, se um corpo na sua órbita de revolução(...)*» (PRINCIPIA:48), o movimento é estudado numa situação ideal, no espaço vazio. Todavia, Newton sabe que na realidade o movimento se realiza num meio que lhe oferece resistência; é no Livro II que desenvolve as proposições referentes ao estudo, *O Movimento dos Corpos (em meios resistentes)* [The Motion of Bodies (in resisting mediums)]. Neste livro Newton procura encontrar as leis que governam a acção dos fluidos sobre o movimento dos corpos no seu interior. Sobre esta parte dos *Principia* já se escreveu:

«o Livro II não é muito satisfatório, mas todo ele é atravessado por um engenho brilhante que delimita as áreas e define os problemas que viriam a ocupar grande parte das investigações que se realizaram no século seguinte» (TRUEDELL, 1975: 94).

É aqui que Newton antecipa, enuncia e tenta resolver alguns problemas de Mecânica que só em meados do séc. XVIII virão a ser satisfatoriamente resolvidos, como é o caso da aplicação das suas três leis da mecânica ao movimento de fluidos, e ainda a aplicação dos princípios variacionais aos problemas de extremos.

É na última parte, o Livro III dos *Principia*, intitulada *O Sistema do Mundo (em tratamento matemático)* [The System of the World (in mathematical treatment)], que vai aplicar as conclusões teóricas obtidas nos livros anteriores ao estudo dos fenómenos naturais. Este livro abre com as célebres *Regras de Raciocínio em Filosofia* [Rules of reasoning in philosophy], a que se segue uma secção, intitulada «*Phenomena*». Esta secção inicia-se como uma lista de dados de fenómenos astronómicos: características das órbitas dos satélites de Júpiter e o seu acordo com as Leis de Kepler; o mesmo para os satélites de Saturno; identicamente para os planetas do sistema solar. É na Proposição VII deste Livro que se define a constante de proporcionalidade da força gravítica como uma função da massa gravítica. Esta proposição corresponde ao enunciado da célebre Lei da Gravitação Universal. O livro III presta uma atenção particular às anomalias do movimento da Lua, mostrando que este facto resultava da acção do Sol sobre o satélite terrestre, e ao efeito das marés. Este último é tratado de uma forma bastante minuciosa. É explicado o movimento de precessão dos equinócios através da acção conjunta da Lua e do Sol. O final deste livro é dedicado aos cometas. Na época de Newton, o universo significava o sistema solar, não com todos os planetas que hoje se conhecem, disposto numa estrutura de estrelas fixas. É nos *Principia* que Newton *alarga o céu*, ampliando-o para que, nos seus limites, fossem incluídos os cometas, corpos celestes que, entretanto, ele provou descreverem órbitas, semelhantes às dos outros planetas, em torno do sol. E o sistema solar cresceu para lá de Saturno...

### 3. As Definições e os Axiomas nos *Principia*

Eis os enunciados, em português, das leis de Newton<sup>7</sup>:

<sup>7</sup> O enunciado das Leis em Inglês: «I- Every body continues in its state of rest, or of uniform motion in a right line, unless it is compelled to change that state by forces impressed upon it. II- The change of motion is

«I - Todo o corpo permanece no seu estado de repouso, ou de movimento uniforme rectilíneo, a não ser que seja compelido a mudar esse estado devido à acção de forças aplicadas.

II - A variação de movimento é proporcional à força motriz aplicada; e dá-se na direcção da recta segundo a qual a força está aplicada.

III- A toda a acção sempre se opõe uma reacção igual; ou, as acções mútuas de dois corpos são sempre iguais e dirigidas às partes contrárias.» (PRINCIPIA[TA]: 13)

Como facilmente se depreende dos enunciados apresentados, os três axiomas definem relações entre termos, ou grandezas, tais como movimento uniforme rectilíneo, variação do movimento, força aplicada, acção e reacção. Daí que, anteriormente à apresentação dos axiomas, a exposição newtoniana abra com um conjunto de oito definições prévias, incidindo fundamentalmente sobre os conceitos empregues nas leis do movimento.

A Definição I debruça-se sobre a noção de quantidade de matéria ou massa; Newton define esta grandeza como o produto da densidade pelo volume. É legítimo perguntar: o que é a densidade? A esta questão não é dada qualquer resposta, parte-se do princípio que a densidade é um dado a priori. No seu comentário à definição de quantidade de matéria, o autor dos Principia escreve:

«É esta quantidade a que sempre me refiro de ora em diante sob a designação de corpo ou massa. E a mesma é conhecida como peso de cada corpo, pois é proporcional ao peso, como descobri através de experiências, cuidadosamente feitas, com pêndulos, que serão mostradas em seguida.» (PRINCIPIA: 1).

Sublinhe-se para já a referência à relação entre massa e peso (Newton no Livro II demonstrará esta proporcionalidade à custa da sua a segunda Lei). Começam logo aqui alguns dos escolhos lógicos na edificação dos *Principia*.

A Definição II caracteriza a grandeza *quantidade de movimento* —

«A quantidade de movimento é a medida do mesmo, resultando conjuntamente da velocidade e da quantidade de matéria» (PRINCIPIA: 1) —

a sua expressão é, o produto da massa pela velocidade. As definições seguintes referem-se aos diferentes tipos de força.

A Definição III define a *vis insita*, isto é a natureza inerte da matéria que é concebida como uma força de inactividade. Segundo Newton, a inércia é uma força inerente à própria matéria, *insita*, e latente enquanto não existir qualquer outra força aplicada ao corpo. Nesta definição de força não se vislumbra qualquer relação entre esta grandeza, este tipo de força, e o movimento por si provocado, isto é a aceleração observada. Escreve Newton:

---

proportional to the motive force impressed; and is made in the direction of the right line in which that force is impressed. III- To every action there is always opposed an equal reaction: or, the mutual actions of two bodies upon each other are always equal, and directed to contrary parts» (PRINCIPIA: 13). Em latim, o enunciado das leis na edição de 1726 é o seguinte: «I— Corpus omne perseverare in statu suo quiescendi vel movendi uniformiter in directum, nisi quatenus illud a viribus impressis cogitur statum suum mutare. II— Mutationem motus proportionalem esse vi motrici impressae, et fieri secundum lineam rectam qua vis illa imprimitur. III— Actioni contrariam semper et aequalem esse reactionem: sive corporum duorum actiones in se mutuo semper esse aequales et in partes contrarias dirigi».

«Um corpo, devido à natureza inerte de matéria, tem alguma dificuldade em sair do seu estado de repouso ou de movimento. Devido a tal facto, esta *vis insita* pode, através de um nome assaz significativo, ser chamada inércia (*vis inertiae*) ou força de inactividade. Mas um corpo só manifesta esta força quando outra força, impressa sobre ele procura alterar a sua condição e o exercício desta força pode ser considerado como resistência e como impulso (...).»<sup>8</sup>(PRINCIPIA: 2)

Assim, de acordo com Newton, a *vis insita* é a capacidade que cada corpo tem de resistir à alteração do seu estado de movimento. Diferentes corpos oferecerão diferentes resistências, mas esta propriedade será constante para cada um deles. A característica individual de cada corpo é a sua inércia ou, como se virá a designar em mecânica clássica, a massa inercial. O comentário de Newton a esta definição termina do seguinte modo:

«(...) mas movimento e repouso, como são geralmente concebidos, distinguem-se unicamente de um modo relativo, pois não estão verdadeiramente em repouso os corpos que normalmente se julga estarem » (PRINCIPIA: 2).

A noção relativa de movimento, bem como o repouso entendido como um estado particular do movimento, é aqui, nos *Principia*, colocado pela primeira vez, sendo a diferença entre estes estados associada à existência de uma força particular, a *vis insita*.

As definições I e III apontam para duas grandezas que são, respectivamente, a quantidade de matéria ou massa gravítica (grandeza presente na expressão da Lei da Gravitação universal) e a massa inercial. Newton tem necessidade de postular a existência de ambas: a primeira tem para ele um significado físico (material) muito preciso, enquanto que a segunda corresponde a uma necessidade conceptual da sua teoria. Para Newton estas «duas massas» de um mesmo corpo são iguais.

A Definição IV centra-se no conceito de forças aplicadas, *vis impressa*, como sendo as forças que, actuando sobre um corpo, são responsáveis por modificar o seu estado de movimento, ou, bem entendido, de repouso. Newton clarifica que este estado de movimento é uniforme e rectilíneo. Para outros tipos de movimento Newton definirá outros tipos de forças. Três aspectos distinguem as forças aplicadas das forças inatas:

«(...) primeiro do que tudo são uma acção pura, de carácter transitivo, passageiro; segundo, não permanecem no corpo se a acção termina; terceiro, enquanto que a inércia é uma força universal da matéria, as forças aplicadas possuem diferentes origens, tal como “percussão, pressão, força centrípeta”» (JAMMER, 1957: 121)

O carácter efémero destas forças traduz a ideia escolástica *cessante causa cessat effectus*. As forças aplicadas resultam de uma acção exterior sobre o corpo, enquanto que as forças inatas constituem uma característica do próprio corpo, residem nele.

Na Definição V Newton introduz o terceiro e último tipo de força, o de força centrípeta, e o seu enunciado é o seguinte:

«Uma força centrípeta é aquela através da qual os corpos são atraídos ou impelidos, ou de qualquer modo tendem em direcção a um ponto como para um centro» (PRINCIPIA: 2).

A designação newtoniana de força centrípeta corresponde às forças ditas centrais. Nas Definições VI, VII, VIII introduzem-se conceitos directamente relacionados com a

<sup>8</sup> Os não itálicos correspondem a itálicos no original.

força centrípeta. Uma questão se impõe: no comentário de Newton à Definição IV já tinha sido colocado como exemplo de uma força aplicada a força centrípeta, qual o motivo para uma definição particular deste tipo de força? Resposta: «*Parece que Newton olhava para a força centrípeta como uma força de maior importância que todas as outras*» (JAMMER, 1957: 122). A nota à Definição V, conforme escreveu Newton, inicia-se deste modo,

«Desta espécie é a gravidade, pela qual os corpos tendem para o centro da terra; é o magnetismo, através do qual o ferro tende para a magnetite(...)» (PRINCIPIA: 2),

o que é bastante revelador do que motivava o autor dos *Principia* a dar uma especial atenção à força centrípeta.

Assim pode concluir-se: primeiro, as considerações tecidas por Newton sobre o conceito de força estão metodologicamente relacionadas com os seus estudos sobre a gravitação (a explicação dinâmica dos movimentos planetários, dados pelas três leis de Kepler, era o grande problema da época, ocupava Newton, Hooke, Halley, Leibniz e já ocupara Huyghens e Descartes); segundo, Newton é impreciso na definição do conceito de força, jamais o define, procurando associar a certos efeitos a existência de uma grandeza que passa a designar por força, é um conceito dado *a priori*, surge intuitivamente de uma certa analogia com a força muscular e a percussão; terceiro, também o conceito de massa aparece definido de uma forma bastante equívoca, ao ponto de, como já se escreveu, definir duas grandezas que são a quantidade de matéria ou massa gravítica (grandeza presente na expressão da Lei da Gravitação universal) e a massa inercial. Sobre estas duas grandezas (massa inercial e massa gravítica):

«Devemos salientar o carácter experimental de uma tal identificação . A sua razão profunda, teórica, é inexplicável no domínio da mecânica newtoniana. A Mecânica Clássica aceitou como um facto da experiência a identidade das duas massas mas nunca pôde explicá-lo. A explicação só apareceu com Einstein no desenvolvimento da sua teoria da relatividade». (SILVA, s.d: 22)

Entre as definições referidas e o enunciado dos três axiomas, Newton desenvolveu um conjunto de considerações num *scholium*, talvez as páginas dos *Principia* até hoje mais analisadas, com o propósito de caracterizar o que é tempo absoluto, verdadeiro e matemático, espaço absoluto e relativo, movimento absoluto e relativo. Porque nos comentários aqui desenvolvidos por Newton está implícito o conhecimento das leis de mecânica, passaremos à discussão do significado destas leis. Em seguida retomar-se-á a análise do *scholium*.

Retorne-se agora ao enunciado das três leis de Newton.

O primeiro axioma, ou Primeira Lei, é vulgarmente interpretada como a Lei da Inércia. Esta lei é o culminar de um ponto de ruptura muito importante com a física pré-galileana ou aristotélica. Nesta concepção o movimento era entendido como um processo, um desenvolvimento, que alterava as características inerentes ao corpo, opondo-se ao repouso que correspondia à ausência desse processo. Depois de Galileu movimento e repouso são indiscerníveis, deixaram de afectar os atributos dos corpos, só podem ser definidos quando em relação com outros corpos. No universo newtoniano, esta lei associa a alteração do movimento de um corpo, enquanto estado, ao aparecimento de uma

grandeza denominada força aplicada. Ou, outra importante inovação, os corpos oferecem resistência em, por si só, alterarem o seu estado de movimento (tendo sempre presente o repouso como um estado particular de movimento); para conseguirem esta alteração é necessário o aparecimento de causas exteriores que produzam tal efeito (as forças aplicadas).

A Definição III preparou o caminho para esta lei. A inércia deixou de ser, pura e simplesmente, a resistência ao movimento; a inércia passa a ser a resistência à mudança do estado de movimento. A permanência do movimento deixou de implicar a acção contínua de uma força, tal como se assinalou no comentário à Definição III, o corpo pode estar em movimento sem ser sob a acção de uma força. Contudo, a esta primeira lei, para se constituir como tal, falta-lhe a relação entre grandezas. O seu enunciado corresponde à forma física de definir determinados sistemas privilegiados de referência. De acordo com este axioma, a ausência de força aplicada implica que o corpo esteja em repouso ou em movimento uniforme e rectilíneo. Então, para que tal seja observado requiere-se um referencial em que se verifique o enunciado dado: o tal referencial privilegiado (referencial inercial) que é aquele no qual é verdadeira a primeira lei. Newton explicita esta ideia ao enunciar o Corolário V,

«Os movimento dos corpos num dado espaço [em relação a um determinado referencial] são os mesmos entre si, quer o espaço esteja em repouso, ou se mova uniformemente para a frente segundo uma linha recta sem movimento circular» (PRINCIPIA [TA]: 20),

mostrando que não existe um só referencial que satisfaça as condições requeridas, mas sim um conjunto de referenciais, uma classe de espaços, que se designam por referenciais inerciais nos quais é verdadeira a lei da inércia.

O segundo axioma relaciona a força aplicada com a variação de movimento ( $F \propto \Delta mv$ ) ou, de forma mais correcta, com a variação da quantidade de movimento, o produto da massa pela velocidade. Nos comentários a esta lei há dois aspectos que é importante focar: o primeiro diz respeito a uma análise do próprio enunciado e as suas implicações no desenvolvimento dos *Principia*; o segundo liga-se com a apresentação mais moderna desta lei.

Como se sabe, dizer que a força é proporcional à variação da quantidade de movimento, não fazendo qualquer referência ao tempo — esta grandeza está ausente do enunciado newtoniano — implica que a forças aplicadas, *vis impressa*, tenham características de *impulso*, ou, de acordo com o comentário já apresentado à Definição IV, estas forças têm um «*carácter transitivo, passageiro*»; parece não se observar uma persistência na sua aplicação. Numa linguagem matemática não usada por Newton,  $F\Delta t = \Delta mv$  ou  $F = \Delta mv$  no caso de  $\Delta t = 1$ . Porque Newton vai ter necessidade de aplicar a segunda lei a forças com carácter *permanente*, será obrigado a introduzir nos *Principia* um processo que permita passar do  $F\Delta t$  para o resultado de uma sucessão de impulsos (ou a soma de uma série...).

Passando ao segundo comentário. Relembre-se que se deve a Euler a escrita matemática mais actual desta lei,  $F = ma = m \frac{d^2 r(t)}{dt^2}$ . Dela se infere que existe, enquanto lei, uma relação entre grandezas, entendidas estas, evidentemente, como entidades físicas mensuráveis. Mas, como anteriormente se escreveu, Newton, nas suas definições prévias,

nada disse em como medir massa e força, muitos autores entendem esta Lei como a forma de definir a grandeza física força: a força é a grandeza que resulta do produto da massa pela aceleração. Sublinhe-se ainda, no conteúdo deste segundo axioma, a ausência prévia de uma definição clara do conceito de massa.

Apesar de todas as limitações conceptuais e insuficiências axiomáticas, Newton consegue dar a ligação matemática, ou geométrica, entre a *vis impressa* (força aplicada) e os efeitos cinemáticos. Do conhecimento da força aplicada passa a conhecer-se as características de movimento. Não esquecer que Newton conhece a expressão analítica de uma força, a força gravítica (aquela que mais lhe interessa), podendo, então, estudar o movimento causado por ela; este era o seu objectivo principal!

Galileu é o primeiro autor a ser citado nos Principia: «*Pela primeira e segunda Leis e os dois primeiros Corolários, Galileu descobriu que a descida de dois corpos variava segundo o quadrado do tempo(...)*» (PRINCIPIA[TA]: 21) ou de como Newton partira do estudo da cinemática, objecto dos *Discorsi*, para extrair as suas duas primeiras Leis.

O terceiro axioma acrescenta uma característica nova ao conceito de força: o seu aspecto dual; a existência de acção e reacção simultâneas e interdependentes. Esta é uma conclusão nova e muito importante. Há, no entanto, que chamar a atenção para o facto de esta terceira lei não ser uma Lei Geral da Natureza, isto é, não é válida para qualquer tipo de forças. Esta lei só se aplica a forças que resultam da interacção de dois pontos materiais e cuja direcção coincide com a linha que une os pontos, ou seja, só se aplica às chamadas forças centrais. A importância desta lei é manifesta, mesmo em formulações diferentes e mais recentes da mecânica clássica. No *scholium* às três leis, Newton escreve, já depois de ter referido Galileu,

«(...) em conjunto com a Lei III, Sir Christopher Wren, Dr. Wallis e o Sr. Huygens, os maiores géometras dos nossos tempos, elaboraram rigorosamente as regras do choque e reflexão dos corpos duros (...)» (PRINCIPIA[TA]: 22).

O que evidencia que a percepção do choque, do contacto entre os corpos foi a base desta lei: as determinações da lei dos choques constituem a base empírica do enunciado do terceiro axioma newtoniano. Sucodem-se às três leis, seis corolários que descrevem as propriedades dos movimentos dos corpos, dos quais se destacam três: a regra do paralelogramo para a composição de forças (Corolário I); o centro de massa de um sistema de corpos sujeitos exclusivamente às suas interacções mútuas permanece em movimento uniforme e rectilíneo ou em repouso (Corolário IV); as características de um referencial inercial (Corolário V).

#### 4. O Scholium e a definição de espaço e tempo

Entre as oito definições referidas e o enunciado dos três axiomas, Newton desenvolveu um conjunto de considerações com o propósito de caracterizar o que é tempo absoluto, verdadeiro e matemático, espaço absoluto e relativo, movimento absoluto e relativo. Ele próprio escreve:

«Não defino tempo, espaço, lugar e movimento, pois são bem conhecidos de todos. Devo somente observar que as pessoas comuns concebem essas quantidades só a partir da relação que mantêm com objectos sensíveis. Daí

resultam alguns preconceitos que para serem removidos, será conveniente distingui-los em absolutos e relativos, verdadeiros e aparentes, matemáticos e comuns» (PRINCIPIA: 6).

E, porque estes conceitos são do conhecimento de todos, Newton evita formalizar um novo conjunto de definições que engrossasse o conjunto prévio com que abriu a *Principia* (é o que acontece na terceira edição...). Não define espaço e tempo, lugar e movimento, desenvolvendo um longo comentário de sete páginas, onde procura clarificar estas noções, eliminando alguns preconceitos.

Dissertando sobre o espaço, Newton começa por afirmar,

«O espaço absoluto, na sua própria natureza, sem relação com algo externo, permanece sempre igual e imóvel. O espaço relativo (...) que, para os nossos sentidos, é determinado pela sua posição em relação aos corpos, espaço que normalmente é tomado como espaço imóvel: é o que se passa com uma extensão espacial subterrânea, aérea ou celeste determinada pela sua posição em relação à Terra. » (PRINCIPIA: 6).

A ideia de espaço relativo dada por Newton é aquilo que hoje se entende por um sistema de referência, três eixos (...e um relógio se se considerar o tempo), que qualquer observador tem que usar para poder estudar o movimento; é elucidativo o exemplo da dimensão de um túnel, entendida como a diferença de posição, num determinado instante, em relação à terra, ou seja ao sistema de eixos que é o referencial. Quanto à referência ao espaço absoluto, nada foi adiantado, pois é qualquer coisa que permanece sempre igual e imóvel; mas, igual e imóvel em relação a quê?

Newton sabe que o espaço é homogêneo e, perante os nossos sentidos, as suas partes são indistinguíveis à nossa percepção. Contudo, esta entidade tem que ser alvo de medidas, sem as quais é impossível falar em movimento. Assim escreve,

«(...) porque as partes de espaço não podem ser vistas, ou distinguidas umas das outras, pelos nossos sentidos, em seu lugar usamos medidas sensíveis delas. Porque, a partir das posições e distâncias das coisas a um corpo qualquer considerado imóvel, definimos todos os lugares; em seguida, em relação a esses lugares, estimamos todos os movimentos, considerando os corpos como transferidos de alguns desses lugares para outros. E assim, em vez dos lugares e movimentos absolutos, usamos os relativos; fazêmo-lo vulgarmente sem qualquer inconveniente, mas, em Filosofia, devemos abstrair-nos dos nossos sentidos e considerar as coisas tais como são, diferentes das suas medidas sensíveis. Pois, pode acontecer que não haja nenhum corpo realmente em repouso, em relação ao qual os lugares e movimentos dos outros possam ser referidos (...)» (PRINCIPIA: 6).

O que significa que os espaços relativos são os nossos sistemas de eixos, aqueles nos quais efectuamos as medidas. Estes espaços movem-se uns em relação aos outros. Logo, numa generalização, pode colocar-se a seguinte questão: será que não existe um sistema qualquer em relação ao qual todos os outros se movem? E Newton responde que «*em Filosofia, devemos abstrair-nos dos nossos sentidos e considerar as coisas tais como são, diferentes das suas medidas sensíveis*», em última análise existirá um espaço absoluto imóvel que corresponde ao sistema de eixos absoluto e não está ao nosso alcance, baseados no conhecimento limitado



de uma região do espaço, negar a sua existência. A existência do espaço absoluto corresponde a uma generalização filosófica, dos espaços relativos. Para Newton, o espaço absoluto era necessário, como generalização conceptual, e atribuía-lhe realidade física porque estava fora da capacidade empírica do homem provar a sua não existência.

A hipótese do espaço e tempo absolutos<sup>9</sup> constituiu uma necessidade teórica sobre a qual se construiu toda a física clássica,

«enunciada por Newton com demasiada ostentação para ser ignorada pelos seus contemporâneos, esta hipótese acabou, no entanto, por assumir um papel mais discreto (...)» (VERLET, 1993: 358),

de tal modo que os físicos do séc. XIX a aceitaram sem lhe prestar grande atenção, excepção feita a Mach. Só no dealbar do séc. XX, Einstein, mercê de fortes incoerências aparecidas no edifício da Física Clássica, sobretudo na relação entre a Mecânica e o Electromagnetismo, avança com uma proposta capaz de substituir todo o quadro teórico erigido por Newton.

No final dos *Principia*, no seu *General Scholium*, Newton escreve

«Ele [Deus] permanece para todo o sempre e está presente por todo o lado, e por existir sempre e por todo o lado, constitui a duração e o espaço (...)» (PRINCIPIA[TA]: 545).

Para Newton, o espaço e o tempo comum eram conhecidos a partir das medidas relativas efectuadas com réguas e relógios, mas, para além destas quantidades, existiam um espaço e tempo verdadeiros, matemáticos e absolutos, fora de qualquer realidade experimental, metafisicamente entendidos como existindo sempre e por todo o lado, só testemunhados pela presença dessa entidade que «governa todas as coisas, não só como a alma da natureza, mas como o Senhor de tudo» (PRINCIPIA[TA]: 544).

No final do *Scholium*, Newton distingue entre movimento verdadeiro e relativo e entre movimento absoluto e relativo, usando para tal a relação entre a força aplicada ao corpo e o seu efeito, o movimento provocado. Newton refere-se, pela primeira vez, à relação entre a força e o movimento sem ainda ter enunciado as leis da dinâmica.

Como se viu na secção anterior, a primeira lei da axiomática newtoniana pressupõe para a sua verificação a existência de uma determinada classe de referenciais. São referenciais privilegiados nos quais a alteração do estado de movimento do corpo implica a detecção de força. O problema fisicamente importante reside em identificar estes referenciais sem conhecer a força ou, ainda, como identificar experimentalmente estes referenciais. A prova da sua existência corresponde a distinguir o movimento absoluto do relativo, encontrar a diferença entre, respectivamente, o deslocamento no espaço absoluto e no espaço relativo.

Newton escreve,

«As causas pelas quais os movimentos verdadeiros e relativos se distinguem entre si, são as forças impressas nos corpos que geram movimento. O movimento verdadeiro não é gerado nem alterado a não ser por alguma força impressa ao

---

<sup>9</sup> Uma das polémica mais célebres em torno destes conceitos foi a que se estabeleceu entre Leibniz e Clarke, um discípulo de Newton, onde o problema do espaço absoluto sobressai como uma das questões de maior protagonismo filosófico, cf FITAS,A.J., 1993, *Uma Controvérsia na História da Física*, Vértice, 56, 1993, 49-61.

corpo movido, mas o movimento relativo pode ser gerado ou alterado sem qualquer força impressa sobre o corpo. Pois é suficiente somente imprimir uma força qualquer sobre os outros corpos com os quais o primeiro é comparado para que, pela sua cedência, essa relação possa ser alterada, consistindo ela no repouso ou movimento relativo desse outro corpo (...)» (PRINCIPIA: 10).

O seu argumento essencial reside no facto de que existem forças reais e que estas provocam um movimento real e identificável em relação a todos os outros movimentos existentes quando da ausência de forças. No entanto, perante o que já se sabe das definições arroladas por Newton, força é um conceito impreciso e que surge intuitivamente de uma certa analogia com a força muscular; então, como é que o critério da força real permite distinguir entre movimento verdadeiro e relativo?

Se a causa é a força aplicada, quais serão os efeitos? Newton responde:

«Os efeitos que distinguem o movimento absoluto do relativo são as forças de afastamento do eixo do movimento circular. Pois não existem tais forças no movimento circular puramente relativo, mas no movimento verdadeiro e absoluto elas são maiores ou menores de acordo com a quantidade do movimento (...)» (PRINCIPIA: 10).

Este é o essencial do raciocínio de Newton, o movimento circular absoluto tem como efeito o aparecimento de uma força centrífuga; se existe um referencial em relação ao qual se possa identificar a existência desta força, está identificado experimentalmente o referencial absoluto ou o espaço absoluto. É neste passo do *Scholium* que Newton expõe a célebre experiência do balde que se apresenta no QUADRO I.

No final da passagem 3 da sua experiência, Newton concluiu: primeiro, que a superfície livre da água é côncava, existindo, então uma força responsável por essa deformação; segundo, o facto de a água estar em repouso em relação ao balde mostra que o movimento relativo não pode estar associado à força centrífuga; terceiro, a força centrífuga, responsável pela concavidade, está relacionada com o movimento de rotação da água em relação ao espaço absoluto. Os argumentos são controversos e o próprio Newton reconhece que

«É, na verdade, um assunto de grande dificuldade descobrir e, efectivamente, distinguir, os movimentos verdadeiros dos corpos dos aparentes, porque as partes desse espaço imóvel, nos quais os movimentos são realizados, não são observadas de algum modo pelos nossos sentidos (...)» (PRINCIPIA: 12).

Uma experiência análoga à descrita por Newton pode servir de contra-exemplo, ei-la: *num balde, suspenso de uma corda comprida que está completamente torcida, é colocado no seu interior, e ajustando-se perfeitamente à sua cavidade um molde de uma substância rígida, por exemplo madeira; o balde ao ser largado do repouso, conjuntamente com o molde, rodará em torno do mesmo eixo mas em sentido contrário e quando a corda deixar de estar torcida, o balde continuará por algum tempo com o mesmo movimento; o balde comunicará gradualmente o seu movimento ao molde, não se alterando a superfície livre da madeira, até por fim rodarem os dois simultaneamente, encontrando-se ambos em repouso relativo.* Conclusão: primeiro, a superfície livre da madeira não é côncava, é plana, então não há qualquer deformação que permita supor a existência de uma força (o que não significa que não exista e não se manifeste em efeitos não observáveis directamente); segundo, o facto de não se identificar uma força centrífuga (através da observação directa)

obriga a reconhecer que não há qualquer movimento do molde em relação ao espaço absoluto. As duas experiências, a de Newton e esta última, são formalmente iguais e as conclusões extraídas são completamente diferentes.

QUADRO I

	Enunciado de Newton (PRINCIPIA: 10)	Observação
1	<i>Se um balde, suspenso de uma corda comprida, sofrer muitas voltas em torno da corda, sendo depois cheio com água,</i>	aceleração da água em relação ao balde é nula; a superfície livre da água é plana
2	<i>e largado do repouso conjuntamente com a água; então por acção de uma outra força, rodará em torno do mesmo eixo mas em sentido contrário e quando a corda deixar de estar torcida, o balde continuará por algum tempo com o mesmo movimento; a superfície da água será no princípio plana, tal como antes do balde começar a rodar;</i>	aceleração da água em relação ao balde não é nula; a superfície livre da água é plana
3	<i>mas depois, o balde começará por gradualmente comunicar o seu movimento à água, começando esta a rodar e a pouco e pouco subirá junto às paredes do balde, formando ele própria uma figura côncava (como eu experimentei), e quanto mais rápido for o movimento, mais alto subirá a água no balde, até por fim rodar simultaneamente com ele, ficando em repouso relativamente ao balde.</i>	aceleração da água em relação ao balde é nula; a superfície livre da água é côncava
4	(completamos a experiência: o balde finalmente imobilizar-se-á continuando a água a rodar e a pouco e pouco descerá junto às paredes do balde, sendo a sua superfície cada vez menos côncava,	aceleração da água em relação ao balde não é nula; a superfície livre da água é côncava
5	para no fim ser um plano)	aceleração da água em relação ao balde é nula; a superfície livre da água é plana

Embora, em tudo o que se expôs até aqui, o conceito de espaço seja aquele a que se deu mais atenção, a primeira definição a ser apresentada no *Scholium* é referente ao tempo. Newton escreve

«O tempo absoluto, verdadeiro e matemático, por si e pela sua própria natureza, flui uniformemente sem relação com algo externo (...) o tempo relativo, aparente e comum é uma medida de duração sensível e externa (quer precisa quer irregular) feita por intermédio do movimento que é geralmente usado em vez do tempo verdadeiro, tal como a hora, o dia, o mês, o ano (...)» (PRINCIPIA: 6).

O conceito de tempo absoluto é deveras difícil de entender: qualquer coisa que «*flui uniformemente*» (o que pressupõe uma comparação), em relação a quê? A medição deste fluir não tem termo de comparação. Será que Newton não se apercebeu que este conceito era falacioso e, até certo ponto, inútil? A resposta deverá ser afirmativa, pois logo a seguir avança com o conceito prático de tempo relativo que, ele próprio reconhece, ser o aplicável.

Ao comentar esta sua definição que inicia o *Scholium*, Newton explica:

«Tempo absoluto, em Astronomia, distingue-se do relativo, pela equação ou correcção do tempo vulgar. Pois os dias naturais são verdadeiramente desiguais, embora sejam vulgarmente considerados iguais e usados como uma medida de tempo. Os astrónomos corrigem esta desigualdade ao medir os movimentos celestes com um tempo mais preciso (...)» (PRINCIPIA: 7).

O tempo relativo tem que ser corrigido, de modo a criar um padrão universal de tempo que se possa aplicar a todos os fenómenos observados quer aqui, quer em qualquer ponto do sistema solar; e prossegue «*pode ser que não exista movimento uniforme, através do qual o tempo possa ser medido com precisão (...)*». Manifesta-se a dúvida sobre a existência de um fenómeno de tal forma exacto na sua periodicidade que possa vir a constituir-se como padrão do tempo absoluto, verdadeiro e matemático; e continua «*Todos os movimentos podem ser acelerados e retardados, mas o fluir de tempo absoluto não está sujeito a nenhuma mudança (...)*», pois o padrão matemático do tempo só se pode comparar consigo próprio ou com nada. Reconhecendo que

«A duração ou perseverança da existência das coisas permanece a mesma, quer os movimentos sejam rápidos ou lentos, ou mesmo não existam; por isso, a duração deve ser distinta do que são as suas medidas sensíveis, das quais a deduzimos por intermédio da equação astronómica (...)» (PRINCIPIA: 7),

não importa o movimento que se escolha para comparar os tempos; o tempo passa, o homem envelhece independentemente do relógio que o acompanhe, os astros revolucionam periodicamente nas suas órbitas... Tem que haver um tempo não sujeito a qualquer movimento, um tempo absoluto!

Para Newton deveria existir um tempo «*constituído por uma sequência tal como os números reais*» (WHITROW, 1980: 35) em que a regularidade desta sequência era independente de qualquer acontecimento ocorrido no universo. Era um tempo absoluto, matemático, impossível de ser redutível à experimentação.

## 5. A estrutura dos Principia e as Leis de Kepler

Nos *Principia*, logo a partir do primeiro teorema enunciado começa a perceber-se que a explicação dinâmica dos movimentos planetários, descritos pelas três leis cinemáticas de Kepler, é o grande objectivo da obra. A resolução deste problema, a determinação do tipo de acção responsável por esta cónica harmonia celestial ocupava outros grandes espíritos da época como é o caso de Borelli, Hooke, Halley e Leibnitz e já merecera de Descartes, bem como do próprio Kepler, um esboço de uma teoria global do movimento dos corpos celestes.

Em 1600, Gilbert na sua obra *De Magnete*, primeira exposição sistemática do magnetismo terrestre, perante a natureza da força magnética que se manifestava na sua capacidade de actuar à distância originando movimento, extrapola

«(...) este movimento, que é a inclinação em direcção à fonte, não pertence só às partes da Terra, mas também às partes do Sol, da Lua e aos outros corpos celestes (...)» (GILBERT: 2).

E Newton associará os dois fenómenos, aceitando a sua mesma natureza, confundindo-os nos seus efeitos, escrevendo na nota à Definição V:

«Desta espécie é a gravidade, pela qual os corpos tendem para o centro da terra; é o magnetismo, através do qual o ferro tende para a magnetite; e é a força, qualquer que seja, através da qual os planetas são continuamente afastados dos movimentos rectilíneos, em que, caso contrário, persistiriam, e que os forçam a girar em órbitas curvilíneas (...)» (PRINCIPIA: 2).

Esta parecia ser a única forma capaz de materializar a acção à distância... Já Galileu, na parte final da terceira Jornada dos seus *Diálogos* procurara discutir as particularidades dos movimentos da Terra procurando relacioná-los com o facto desta ser um magnete gigante, invocando amiúde o trabalho de Gilbert.

Para Kepler, a aceitação do movimento dos planetas em torno do Sol obrigava a que este astro fosse o centro de forças magnéticas. Kepler concebia o Sol como animado de movimento de rotação, «*movimento que transmitia aos planetas por intermédio de uma **species imaterial**, análoga, por sua vez, à luz e à força magnética*» (KOYRÉ, 1968: 14). Esta *species* atravessaria o espaço e, à medida que se afasta do Sol, o seu efeito vai enfraquecendo, o que explicava o movimento mais lento dos planetas mais afastados. Há uma certa analogia entre esta fonte de movimento e a propagação dos raios luminosos (DUGAS, 1988: 215), pois, relembre-se Euclides, a intensidade da luz emitida por uma fonte varia na razão inversa do quadrado da distância a esta. Daí que Kepler, arrastado por esta semelhança, suspeite que a acção proveniente do Sol, *virtus movens*, e sentida pelos diversos planetas, deve respeitar a lei do inverso do quadrado das distâncias. Kepler fica-se pela suspeita porque, devido a erros de cálculo e à sua concepção aristotélica do movimento, é impelido para uma força proporcional ao inverso da distância. De qualquer modo, embora muito perto da solução que Newton virá a encontrar, seria impossível ao astrónomo polaco vislumbrá-la, visto que a sua força magnética não é de forma alguma uma alternativa para a gravitação: «(...) *ela não é responsável pela manutenção dos planetas nas suas órbitas (...) para Kepler, tal como para Aristóteles, o movimento circular é um movimento simples e natural (...)*» (KOYRÉ, 1968: 14).

Descartes substituiu o *virtus movens* de Kepler pelo seu éter pleno de vórtices. O filósofo francês renegava a interacção à distância no vazio, substituindo todo o espaço por qualquer coisa como um líquido cheio de turbilhões que seriam os responsáveis pelo transporte dos planetas no seu movimento em torno do Sol. Embora senhor de ferramentas analíticas para tratar os problemas geométricos, Descartes não fez qualquer tentativa para explicar as célebres Leis de Kepler, no sentido de as adaptar ao seu sistema.

Hooke, num artigo publicado em 1674 e intitulado *An Attempt to prove the annual Motion of the Earth*, aderiu, sem qualquer prova, à hipótese de acção à distância entre os planetas :

«Todos os corpos celestes, sem excepção, exercem uma força[*power*] de atracção ou peso que é dirigido em direcção ao seu centro, em virtude do qual não só mantêm as suas próprias partes, impedindo que eles se soltem, tal como podemos ver para o caso da terra, mas também atraem todos os corpos celestes, o que acontece dentro da sua esfera de actividade. Por exemplo, não só o Sol e a Lua que actuam sobre o movimento da Terra, na mesma forma em que esta actua sobre eles, mas também Mercúrio, Vénus, Marte Júpiter e Saturno têm, devido à sua força [*power*] de atracção, uma influência considerável no movimento destes corpos» (in DUGAS, 1988: 216).

Hooke acabou por defender, influenciado pela analogia óptica, que o valor da atracção variava na razão inversa do quadrado da distância. Halley, o grande instigador da publicação dos *Principia*, aplicou alguns teoremas enunciados por Huygens sobre a força centrífuga, publicados sem demonstração no final da obra *Horologium Oscillatorium*, à

hipótese de Hooke e assumindo a terceira lei de Kepler  $\left(\frac{a^3}{T^2} = \text{constante}\right)$ , concluiu sobre a lei do inverso do quadrado da distância<sup>10</sup>.

Assim, tudo leva a crer que Newton estaria na posse de todas as hipóteses necessárias para inferir a sua célebre lei... o que faltava era a construção de um edifício coerente que ostentasse no seu cume a explicação do *Sistema do Mundo* !

A estrutura do Livro I («*On Motion of Bodies*») dos *Principia* obedece a uma sequência de secções que se apresenta no QUADRO II.

QUADRO II

Secção	Título	Proposições
I	<i>O métodos das razões primeira e última de quantidades, com a ajuda do qual demonstraremos as proposições seguintes</i>	Lema I a XI
II	<i>A determinação das forças centrípetas</i>	I a X
III	<i>O movimento dos corpos em secções cônicas excêntricas</i>	XI a XVII
IV	<i>A determinação das órbitas elíptica, parabólica e hiperbólica sendo dado o foco</i>	XVIII a XXI
V	<i>Como as órbitas podem ser encontradas quando o foco não é dado</i>	XXII a XXIX
VI	<i>Como pode ser determinado o movimento em órbitas dadas</i>	XXX a XXXI
VII	<i>Ascensão e queda rectilínea dos corpos</i>	XXXII a XXXIX
VIII	<i>A determinação das órbitas de revolução dos corpos quando actuados por qualquer tipo de força centrípeta</i>	XL a XLII
IX	<i>O movimento dos corpos em órbitas móveis e o movimento das absides</i>	XLIII a XLV
X	<i>O movimento dos corpos em determinadas superfícies e o movimento pendular oscilatório dos corpos</i>	XLVI a LVI
XI	<i>O movimento dos corpos que são atraídos entre si por forças centrípetas</i>	LVII a LXIX
XII	<i>As forças atractivas de corpos esféricos</i>	LXX a LXXXIV
XIII	<i>As forças atractivas de corpos que não são esféricos</i>	LXXXV a XCIII
XIV	<i>O movimento de corpos muito pequenos quando agitado por forças centrípetas que tendem para diversas partes de qualquer corpo grande.</i>	XCIV a XCVIII

Na primeira secção apresentam-se 11 Lemas cujo objectivo principal é apresentar os utensílios matemático-geométricos para trabalhar com uma «acção contínua das forças», isto é, a força centrípeta que actua entre os planetas e o Sol não actua como um impulso, mas, ao contrário, age continuamente. É aqui que vão intervir as descobertas do cálculo das fluxões, uma secante a uma curva, no limite de aproximação entre os dois pontos de corte, tende para a sua tangente num ponto; é o Lema VII:

«A mesma coisa acontece, a última razão que existe entre o arco, a corda e a tangente, é a razão de igualdade» (PRINCIPIA[TA]: 40).

No essencial os lemas aqui apresentados vão permitir a Newton evitar longas e aborrecidas demonstrações geométricas à moda dos «antigos géometras», como ele próprio escreve,

«Estes Lemas foram permitidos para evitar as deduções fastidiosas envolvidas nas demonstrações ad absurdum, de acordo com o método dos antigos géometras. Pelo método dos indivisíveis as demonstrações são mais curtas, mas, porque a hipótese dos indivisíveis parece ser, até certo ponto, desarmoniosa e, portanto

<sup>10</sup> Leis de Kepler: 1) As órbitas dos planetas são elipses em que o Sol ocupa um foco; 2) O raio vector de um planeta varre áreas iguais em intervalos de tempos iguais; 3) Os quadrados dos períodos de revolução são proporcionais aos cubos dos eixos maiores das elipses.

esse método é considerado para o cálculo menos geométrico» (PRINCIPIA[TA]: 38).

No primeiro teorema da Secção II, Proposição I, estabelece-se que um corpo sujeito à acção de uma força central tem que obrigatoriamente obedecer à segunda lei de Kepler e que a sua órbita é plana:

«As áreas varridas pelos raios que descrevem o movimento de revolução dos corpos em torno de centros imóveis da força permanecem no mesmo plano imóvel e são proporcionais aos tempos gastos no percurso» (PRINCIPIA[TA]: 40).

Repare-se que no enunciado deste teorema nada é dito sobre o tipo de curva. A dificuldade desta demonstração reside principalmente no tratamento da «acção contínua» da força centrípeta, pois a acção da força aplicada foi conceptualizada na segunda Lei sobre o modelo do «impulso» da percussão ou do choque. Observe-se como Newton fez intervir os Lemas apresentados na secção 1. Recorrendo à Fig.-4: aproxima a trajectória curvilínea descrita por pequenos segmentos de recta, AB, BC, CD, DE, EF,...; a força central, sempre dirigida para o ponto S, actua por *impulsos* nos pontos (instantes) A, B, C, D, E, F, ..., desviando o corpo da sua trajectória rectilínea.

Considere-se um intervalo de tempo dividido em duas partes iguais. Na primeira parte o corpo percorre AB e, caso nenhuma força actuasse sobre ele, na segunda percorreria Bc, de tal modo que  $AB=Bc$  (Primeira Lei). Os triângulos ABS e BcS, porque têm bases iguais ( $AB=Bc$ ) e altura comum, So, as suas áreas são iguais. Se em B intervier

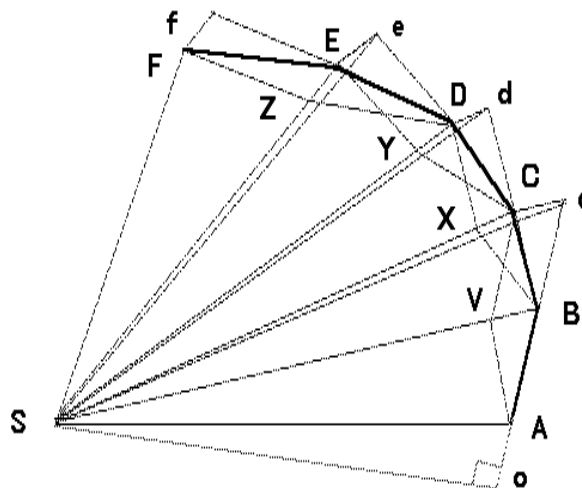


Fig.-4 (PRINCIPIA: 40)

uma força centrípeta, um novo impulso, o corpo é desviado de Bc e passa a deslocar-se segundo a direcção BC. Aplique-se a regra do paralelogramo (Corolário I): pelo ponto c traça-se uma paralela à direcção SB que vai encontrar a recta BC no ponto C pertencente ao plano do triângulo ASB. Os triângulos BcS e BCS possuem a mesma base, BS, como a distância dos pontos C e c a este segmento é a mesma (Cc é paralela a BS), então a área dos triângulos é igual. As áreas de ABS e BCS são iguais. Repetindo os argumentos utilizados conclui-se pela igualdade das áreas BCS e CDS, CDS e DES, ... e, por composição, as diversas somas destas áreas elementares estão entre si como os intervalos de tempo gastos em percorrê-las. Para terminar esta demonstração leia-se o que escreveu Newton,

«(...) aumente-se o número de triângulos, e a sua base diminuiu in infinitum; e o seu perímetro final ADF (pelo Corolário IV do Lema III) será uma linha curva: e portanto a força centrípeta, pela qual o corpo é continuamente afastada da

tangente a esta curva actuará continuamente, e quaisquer áreas descritas SADS, SAFS que são sempre proporcionais aos tempos de descrição, serão, também neste caso, proporcionais a esses tempos. Q.E.D.» (PRINCIPIA[TA]: 40).

Daqui se compreende a importância dos Lemas da secção I no tratamento da força centrípeta, enquanto «acção contínua» ao longo do tempo.

Na Proposição II,

«Qualquer corpo que se movimenta numa linha curva descrita num plano e através do raio desenhado a partir de um ponto imóvel, ou que se movimenta segundo um movimento rectilíneo e uniforme, descreve em torno desse ponto áreas proporcionais ao tempo, são solicitados por uma força centrípeta dirigida para esse ponto» (PRINCIPIA[TA]: 40),

prova-se a afirmação recíproca. Está assim encontrada (provada) a Segunda Lei de Kepler e que as órbitas são planas. Na Proposição IV (Teorema IV) e nos nove corolários que lhe estão associados, são afirmados os resultados (segunda e terceira Leis de Kepler) decorrentes do movimento circular descrito por acção da força centrípeta, comentando Newton no Escólio:

«O caso do sexto Corolário obtido para os corpos celestes (tal como rigorosamente observaram Sir Christopher Wren, Dr.Hooke e Dr.Halley) e portanto no que se segue tenciono tratar mais daquilo que está relacionado com a força centrípeta que decresce com o quadrado da distância ao centro» (PRINCIPIA[TA]: 46),

e referindo-se a Huygens, no seu «*excelente livro De horologio oscillatorio, comparou a força da gravidade com a força centrífuga de revolução dos corpos*» (PRINCIPIA[TA]: 46). Aparece pela primeira vez a menção explícita à força variando na razão inversa do quadrado da distância e Newton parte para a determinação da lei a que obedece a força centrípeta partindo do conhecimento da órbita.

Na secção III é tratado o movimento dos corpos ao longo de trajectórias que constituem secções cónicas, demonstrando-se que, no caso do corpo estar sujeito à acção atractiva de uma força central, esta variará na razão inversa do quadrado da distância entre a posição do corpo e o centro da força. Na Proposição XI, o resultado anterior é demonstrado para um movimento elíptico, enquanto que as proposições XII e XIII o fazem, respectivamente, para as trajectórias hiperbólica e parabólica. Enquanto que nas proposições XI, XII e XIII, se estabelece aquilo que se designa por problema directo, no Corolário I da Proposição XIII, enuncia-se a inversa das proposições precedentes; escreve Newton:

«Das três últimas proposições [XI, XII e XIII] segue-se que, se qualquer corpo P vai de uma posição P com uma velocidade qualquer na direcção da linha recta PR, e no mesmo instante é a solicitado pela acção de uma força centrípeta que é inversamente proporcional ao quadrado da distância das posições ao centro, o corpo mover-se-á segundo uma secção cónica tendo como foco o centro da força, e reciprocamente. Sendo dados o foco, o ponto de contacto e a posição da tangente, pode descrever-se a secção cónica que nesse ponto tem uma dada curvatura. Mas a curvatura é dada pela força centrípeta e a velocidade do corpo;



duas órbitas que se cruzem não podem ser descritas pela mesma força centrípeta e pela mesma velocidade» (PRINCIPIA[TA]: 61).

Utilizando uma linguagem analítica mais actualizada pode escrever-se que para uma força central do tipo  $\frac{\lambda}{r^2}$ , conhecido  $\lambda$ , dada a posição e a velocidade iniciais, respectivamente,  $r_0$  e  $v_0$ , o corpo movimenta-se segundo uma trajectória que satisfaz as condições iniciais e a equação de movimento  $\mathbf{F} = m\mathbf{a}$  ou  $\mathbf{r} = \mathbf{r}(t)$  em qualquer instante; para além da existência de uma determinada solução, garante-se o seu tipo e a sua unicidade.

O enunciado deste corolário é, na linguagem do seu autor, apresentado como uma evidência, uma decorrência lógica e imediata das proposições precedentes, não se alongando em qualquer pormenor demonstrativo de índole geométrica, limitando-se a relacionar as características geométricas do movimento com as suas condições dinâmicas, o que, na citação anterior, se ressalta através do sublinhado. Na primeira edição dos Principia este enunciado é escrito sem qualquer pista que apontasse para a sua demonstração, contudo ao preparar a segunda edição da sua obra, Newton reconhece a necessidade de juntar uma frase que aludisse aos passos justificativos da afirmação (CHANDRASEKHAR, 1995: 113). A forma parcimoniosa do novo texto, onde são dadas algumas indicações do caminho da prova, é significativo de quão trivial, sob o ponto de vista matemático, Newton pensava ser este enunciado.

Já está provado que, se o movimento é plano e a força é central, se verifica a segunda lei de Kepler; provou-se em seguida que se esta força central varia na razão inversa da distância, a trajectória do movimento terá de ser uma, e uma só, cónica e reciprocamente, mostrando-se que o tipo de trajectória depende das condições iniciais do problema. Após ter estabelecido a relação entre uma força central, variando na razão inversa do quadrado da distância, e o movimento dos corpos ao longo de secções cónicas, Newton enuncia na Proposição XV (Teorema VII) a proporcionalidade entre os cubos dos semi-eixos maiores das órbitas elípticas e os quadrados dos tempos gastos em percorrê-las. A existência de um certo tipo de força central implica a terceira lei enunciada por Kepler; está encontrada (e provada) a Terceira Lei de Kepler.

As três Leis de Kepler são uma consequência das Leis de movimento, aceitando ainda a hipótese de que a força responsável pelo movimento é central e inversamente proporcional ao quadrado da distância. E reciprocamente, as Leis de Kepler implicam uma força com os atributos atrás definidos. Contudo, embora se garanta a proporcionalidade, ainda não foi calculada a sua constante, logo, na íntegra, não foi ainda estabelecida a Lei da Gravitação Universal.

De uma forma breve referem-se os conteúdos das outras secções do Livro I. Na Secção VII do Livro I trata do movimento de ascensão e queda de um corpo livre submetido à acção de uma força central, enquanto na Secção VIII resolve o problema inverso das forças centrais: determinar a trajectória de um corpo submetido à acção de uma força central e sujeito a determinadas condições iniciais do seu movimento. É só a partir da Secção XI que o centro da força central deixa de ser considerado como um ponto unicamente matemático e passa a ter massa<sup>11</sup>; é aqui que Newton trata o problema dos

<sup>11</sup> Nesta secção Newton enuncia o Teorema XXI : «se dois corpos se atraem mutuamente com forças de qualquer espécie e movimentam-se em torno do seu centro de gravidade comum; digo que, com as mesmas

dois corpos, abordando o problema dos três corpos na Proposição 66. Na Secção XII aparecem os resultados relativos à atracção de massas distribuindo-se em esferas ocas ou plenas<sup>12</sup>...

## 6. A determinação da Lei da gravitação Universal

No Livro I dos Principia, Newton apresenta os conceitos, relaciona-os e estabelece as principais conclusões do seu modelo matemático; o problema das forças centrais não passa de uma hipótese que serve para sustentar diversos teoremas, mas nada é dito sobre a relação dos resultados atingidos e o comportamento da natureza. Newton pôs de pé os pilares do seu sistema físico-matemático, mas é no Livro III, *O Sistema do Mundo (em tratamento matemático)* [The System of the World (in mathematical treatment)], que vai aplicar os resultados teóricos às observações astronómicas, mostrando a correcção da sua teoria.

Este livro abre com as célebres «Regras de Raciocínio em Filosofia [Rules of Reasoning in Philosophy]». São quatro regras e o propósito da sua apresentação corresponde aos seguintes objectivos: o número de causas explicadoras de um dado fenómeno natural deve sempre ser tomado no seu valor mínimo (Regra I); deve assumir-se que efeitos similares são provocados por causas idênticas (Regra II); as qualidades comuns a todos os corpos, determinadas pela experiência, devem ser entendidas como as propriedades dos corpos estendidas a todo o universo (Regra III); na natureza devem ser entendidas como verdadeiras as conclusões que se extraem através da indução geral, até serem refutadas por um qualquer fenómeno (Regra IV). As regras e um comentário sucinto são apresentadas no QUADRO III.

Segue-se, no Livro III, uma lista de dados sobre fenómenos astronómicos: características das órbitas dos satélites de Júpiter e o seu acordo com as Leis de Kepler; o mesmo para os satélites de Saturno; identicamente para os planetas do sistema solar.

Baseado nos resultados do Livro I (Proposições II e IV), bem como nos dados astronómicos previamente expostos, Newton, nas Proposições I, II e III deste último livro, mostra que as forças que actuam sobre os planetas são centrais, orientadas para o foco da trajectória e variam na razão inversa do quadrado da distância.

Na Proposição IV (Teorema IV) onde se enuncia,

«Que a Lua gravita em torno da Terra e que pela acção da força da gravidade é continuamente puxada do seu movimento rectilíneo e mantida na sua órbita» (PRINCIPIA[TA]: 407),

Newton, recorrendo aos dados astronómicos apresentados por vários autores (Ptolomeu, Huygens, Copérnico, Street, Tycho), conclui que

«(...) E portanto a força pela qual a lua é mantida na sua órbita torna-se à superfície da terra igual à força da gravidade que aí nós observamos sobre os corpos pesados. E portanto (pela Regra 1 e 2) a força pela qual a lua é mantida na

---

forças, podem movimentar-se em torno do outro corpo imóvel uma figura [trajectória] similar e igual às figuras que os corpos descreveriam em torno do outro» (PRINCIPIA [TA]: 165).

<sup>12</sup> Por exemplo, o Teorema XXX: «Se cada ponto de uma superfície esférica está sujeito a forças centrípetas [centrais] iguais que decrescem com o quadrado da distância a estes pontos, digo que um corpúsculo qualquer colocado no interior da superfície não será, de qualquer modo, atraído por aquelas forças» (PRINCIPIA[TA]: 193)

sua órbita é a mesma força que comumente chamamos gravidade (...)» (PRINCIPIA[TA]: 408).

### QUADRO III

PRINCIPIA	TRADUÇÃO	COMENTÁRIO
«I- <i>We are to admit no more causes of natural things than such as are both true and sufficient to explain their appearances</i>	Não devemos admitir para causas dos fenómenos naturais mais do que as que são verdadeiras e suficientes para explicar as manifestações dos fenómenos.	É o princípio da simplicidade ou economia das causas explicativas
II- <i>Therefore to the same natural effects we must, as far as possible, assign the same causes.</i>	Assim, aos mesmos efeitos naturais, tanto quanto possível, devem ser atribuídos as mesmas causas.	É a uniformidade da natureza ou a forma de validar universalmente as mesmas leis naturais: os objectos caem da mesma forma na Terra e na Lua; os homens e os outros animais respiram pelo mesmo processo...
III- <i>The qualities of bodies, which admit neither intensification nor remission of degrees, and which are formed to belong to all bodies within the reach of our experiments, are to be esteemed the universal qualities of all bodies whatsoever.</i>	As qualidades dos corpos que não podem ser aumentadas ou diminuídas e que pertencem a todos os corpos sobre os quais se fazem as experiências, devem ser consideradas como as qualidades universais de todos os corpos em geral.	É a homogeneidade da natureza, afirma o seu comportamento regular e previsível
IV- <i>In experimental philosophy we are to look upon propositions inferred by general induction from phenomena as accurately or very nearly true notwithstanding and contrary hypothesis that may be imagined, till such time as other phenomena occur, by which they may either be made more accurate, or liable to exceptions.»</i>	Em filosofia natural, as proposições a que se chega por indução a partir dos fenómenos devem ser tidas como verdadeiras, já que hipóteses contrárias não constituem obstáculo, seja de uma forma rigorosa ou aproximada, até que surjam outros fenómenos que, quer as tornem mais precisas, quer se apresentem como excepção.	As teorias devem estar de acordo com a experiência e, enquanto isto subsistir, devem ser tomadas como verdadeiras.

De acordo com a demonstração feita, onde são exibidos argumentos numéricos, o objectivo desta proposição é sobretudo mostrar que é a mesma, a força que é responsável pela queda dos corpos para a Terra e a que sustenta a Lua na sua órbita. No *scholium* a esta proposição, Newton ilustra o uso das suas Regras de Raciocínio em Filosofia com que abre o Livro III: se ambas as forças referidas (gravidade dos corpos pesados e força central actuando sobre a Lua) possuem a direcção do centro da Terra e têm o mesmo valor então deverão possuir a mesma causa (regra 1 e 2)...

A conclusão exposta nesta última proposição é generalizada para os satélites dos vários planetas nas Proposições V e VI. Na Proposição VII escreve:

«Que há uma força da gravidade que faz parte de todos os corpos e é proporcional a várias quantidades da matéria que eles contêm» (PRINCIPIA[TA]: 414).

Está definida a constante de proporcionalidade como uma função da massa gravítica; é nesta proposição que Newton enuncia a Lei da Gravitação Universal e, como assinala Chandrasekhar, das catorze proposições (teoremas) desta secção, esta é a única em cujo final de demonstração Newton coloca a marca "Q.E.D", *Quod erat demonstrandum*.

Completo-se assim o raciocínio que possibilitou concluir que a força de atracção gravítica sobre um corpo de massa é dada pela tão conhecida expressão analítica:

$$F = -\gamma \frac{mM}{r^2} u_r$$

É alicerçado nos postulados ditados pela natureza, base de toda a Mecânica Clássica, que Newton chegou finalmente à formulação de uma lei natural que unifica o mundo terrestre com o mundo dos astros, uma lei que explica o movimento da queda da maçã à superfície da Terra e a trajectória de qualquer planeta do Sistema Solar. Esta unificação permite tirar uma conclusão mais arrojada: onde quer que se encontrem no universo, quaisquer massas devem atrair-se de acordo com a mesma Lei.

Encontrada a expressão da gravitação, Newton vai, com base em toda a teoria já desenvolvida, estudar uma série de problemas relacionados com a interacção entre os diferentes astros e também o movimento dos cometas. Um desses problemas é a explicação do fenómeno das marés, afirmando no seu TEOREMA XIX,

«Que o fluxo e refluxo do mar resultam da acção do sol e da lua.» (PRINCIPIA: 435).

O Livro III, a obra os Principia, termina com o *General Scholium*, onde Newton escreve:

«Até agora explicámos os fenómenos que ocorrem nos céus através do poder da gravidade, mas não expusemos a causa do seu poder. É certo que deve provir de uma causa que penetra bem no âmago do sol e dos planetas, sem sofrer qualquer diminuição da sua força (...) mas até agora não fui capaz de descobrir a causa das propriedades da gravidade a partir dos fenómenos e não finjo hipóteses [I frame no hypothesis]; pois tudo o que não se possa deduzir dos fenómenos deve designar-se por hipótese; e hipóteses, quer sejam metafísicas ou físicas, quer sejam qualidades ocultas ou mecânicas, não são permitidas na filosofia experimental. Nesta filosofia, proposições particulares inferem-se a partir dos fenómenos e, seguidamente, tornadas gerais a partir da indução (...) e agora poderemos adicionar qualquer coisa que diga respeito a um espírito mais subtil que invada e permaneça escondido em todos os corpos; as partículas que constituem os corpos atraem-se entre si a curtas distâncias, e aderem, caso sejam contíguas; os corpos eléctricos actuam a distâncias maiores, repelindo ou atraindo os corpúsculos vizinhos; e a luz é emitida, reflectida, refractada, inflectida, e o calor dos corpos (...) Mas estas são as coisas que não podem ser explicadas em poucas palavras, nem possuímos experiências suficientes que permitam uma determinação e demonstração rigorosas das leis que regem a acção dos espíritos eléctricos e elásticos » (PRINCIPIA: 546).

Esta transcrição dá uma boa ideia do programa Newtoniano que se pode sintetizar do seguinte modo: organizar, deduzir matematicamente e reelaborar leis a partir de fenómenos conhecidos mas aparentemente independentes entre si; criar novos conceitos; obter previsões numéricas pormenorizadas e compará-las com os valores medidos. Um

programa onde princípios, não retirados directamente da experiência e observação, são afastados («*I frame no hypothesis*») e onde o conceito de força assume uma predominância manifesta como causa essencial na determinação do movimento de qualquer corpo.

## 7. Cronologia Auxiliar

ANO	
1642	Isaac Newton nasce no dia de Natal (Segundo o calendário inglês; no calendário continental, marcava 4 de Janeiro de 1643), em <i>Woolsthorpe</i> , no <i>Lincolnshire</i> ; é-lhe dado o nome de seu pai que morrera alguns meses antes do seu nascimento.
1645	A mãe de Newton, Hannah Ayscough, casa-se de novo com o reverendo Barnabas Smith et vai ara sua casa em North Witham (uma aldeia perto de Woolsthorpe), confiando Isaac à sua mãe, Margery Ayscough.
1653	Morre Barnabas Smith, Hannah Ayscough volta a vive em Woolsthorpe com o seu filho mais velho e os três do segundo casamento.
1655	Newton vai para Grantham onde frequenta a <i>Free Grammar School of King Edward VI</i>
1658	Morre Olivier Cromwell.
1660	Início da restauração; Carlos II (Stuart) torna-se rei de Inglaterra, Escócia e Irlanda.
1661	Newton vai para Cambridge onde frequenta a Universidade
1662	É funda a <i>Royal Society</i> .
1663-64	Newton leu a <i>Géométrie</i> de Descartes et a <i>Arithmetica infinitorum</i> ( <i>Aritmética dos infinitos</i> ) de Wallis e começa as suas pesquisas que o conduzirão à teoria das fluxões
1665-67	A Universidade de Cambridge fecha as suas portas por causa da peste e Newton regressa a Woolsthorpe
1666	Redacção do <i>Tratado de Outubro</i> 1666 contendo a primeira exposição completa da teoria das fluxões; um tratado inacabado e que Newton não divulgará o seu conteúdo
1667	Newton é nomeado <i>fellow</i> do <i>Trinity College</i> de Cambridge
1669	Newton redige o <i>De analysi per cequationes numero terminorum infinitas</i> ( <i>Sobre a análise por equações infinitas quanto ao numero de termos</i> ), onde expõe uma parte da sua teoria das fluxões, envia-o ao secretário da <i>Royal Society</i> que dá conhecimento do seu conteúdo aos principais sábios ingleses da época, mas não o publica; Barrow demite-se da sua cátedra de professor <i>lucasiano</i> de matemáticas na universidade de Cambridge e empenha-se em que seja nomeado Newton como seu sucessor
1671	Newton redige o <i>Tractatus de methodis serierum et fluxionum</i> ( <i>Tratado do método das séries e das fluxões</i> ), com base numa revisão e um alargamento considerável do <i>Tratado de outubro</i> 1666, mas não o publica
1672	Newton envia à <i>Royal Society</i> uma carta expondo os princípios essenciais da sua teoria das cores (fruto de várias experiências iniciadas por volta de 1665) que foi logo publicada nos <i>Philosophical Transactions</i> sob o título « <i>New Theory about Light and Colours</i> » (Nova teoria da luz e das cores»; Newton redige as <i>Lectiones optice</i> ( <i>Lições de Óptica</i> ), contendo uma exposição mais completa da sua teoria que depositará em 1674 na biblioteca da Universidade

- de Cambridge como texto do curso das suas lições universitárias.
- 1672-84 Devido às polémicas suscitadas pela sua teoria das cores, Newton isola-se e dedica-se aos estudos teológicos e alquímicos
- 1673-83 Ensina aritmética e álgebra
- 1679-80 Morre a sua mãe. Corresponde-se com Robert Hooke sobre a trajectória dos planetas e demonstra que uma órbita elíptica pode resultar do efeito de uma força de atracção dirigida para o foco dessa órbita e é inversamente proporcional ao quadrado da distância ao foco...
- 1684 A seguir a uma visita de Halley, Newton redige o *De motu (Do movimento)*: Halley convence-o a redigir um tratado maior, o que conduzirá à redacção *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (Princípios Matemáticos da Filosofia Natural),
- 1684-85 Ensina mecânica
- 1685 Morre Carlos II, Jaime II sobe ao trono e, por se ter convertido ao catolicismo, tenta impor esta religião a todo o país
- 1687 Primeira edição dos *Principia*; estala um conflito entre a Universidade de Cambridge e o rei que pretende impor, sem exame, a admissão do monge católico Alban Francis ao grau de *Master of Arts*; Newton alinha com o grupo dos defensores mais encarniçados da autonomia da universidade e bate-se para que ela não se sujeite à ordem real que, por fim, não será acatada.
- 1688-89 É deposto Jaime II e coroado Guilherme de Orange.
- 1689 Newton é eleito para a Convenção como representante da Universidade de Cambridge e, provisoriamente, reside em Londres
- 1690 Terminam os trabalhos da Convenção; Newton tenta arranjar uma colocação administrativa que lhe permita continuar a residir em Londres, mas não consegue e vê-se compelido a regressar a Cambridge.
- 1693 Newton atravessa uma forte crise depressiva
- 1694 Newton termine a redacção da *Óptica*, mas decide não a publicar
- 1696 Lord Halifax (Charles Montague), Chanceler do tesouro e amigo íntimo de Catarina Barton – filha da meia-irmã de Newton, Hanna Smith – consegue que Newton seja nomeado *Warden* [sub.director] da Casa da Moeda; Newton muda-se definitivamente para Londres.
- 1699 Eleito sócio correspondente da Academie des Sciences de Paris
- 1700 Newton est nomeado *Master* da Moeda
- 1701-02 Newton tem assento no Parlamento na qualidade de representante da Universidade de Cambridge; três semanas depois da sua eleição demite-se de *fellow* do *Trinity College* e da cátedra *lucasana* de matemáticas
- 1703 Eleito Presidente da Royal Society
- 1704 Morre Robert Hooke, o adevsário científico de Newton com maior prestígio; Newton é nomeado Presidente da *Royal Society*; publica a *Óptica* acompanhada dos *Queries 1-16* et de dois apêndices matematicos, le *De quadratura curvarum (Da quadratura das curvas)* et l' *Enumeratio linearum tertii ordinis (Enumeração das linhas de terceira ordfem)*.
- 1702 É armado Cavaleiro pela rainha
- 1706 Primeira edição latina ds *Óptica*, onde acrescenta os *Queries 25-31*
- 1711-12 Polémica com Leibniz sobre a prioridade da descoberta do Cálculo infinitesimal
- 1713 Publicação do *Commercium epistolicum D. Johannis Collins et aliorum de Analysi promota (troca epistolar entre D. John Collins e outros a propósito da*

- promoção da análise*) que decreta a prioridade Newton sobre Leibniz ; segunda edição dos *Principia*.
- 1715 Controvérsia filosófica Leibniz-Clark (Newton)
- 1717 Segunda edição inglesa da *Optique*, onde acrescenta os *Queries 17-24*
- 1726 Terceira edição dos *Principia*
- 1727 A 20 de março, Newton morre na sua residência de Kensington, perto de Londres, assistido nas suas últimas horas por Catherine Barton e o seu marido John Conduit, que será o primeiro biógrafo de Newton; Newton é sepultado na Catedral de Westminster, ao lado dos grandes de Inglaterra
- 1728 J. Conduit publica a *Chronology of Ancient Kingdoms Amended (Cronologia emendada dos reinos antigos)*, última obra preparada por Newton para publicação
- en vue d'une publication.
- 1736 John Colson publica uma tradução inglesa do *De methodis* e Euler publicou em dois volumes a sua *Mechanica*, a reformulação analítica da mecânica de Newton

## 8. Bibliografia

### (a) Citada

- CHANDRASEKHAR, S., 1995, *Newton's Principia for the common reader*, Oxford, Clarendon Press.
- COHEN, I. Bernard, 1978, *Introduction to Newton's 'Principia'*, Cambridge (Mass.), Harvard University Press.
- DUGAS, René, 1988, *A History of Mechanics*, New York, Dover Books.
- GILBERT, William, *De Magnete*, New York, Dover Pub.
- JAMMER, Max, 1957, *Concepts of Force*, Cambridge (Mass.), Harvard University Press.
- KOYRE, Alexandre, 1968, *Etudes Newtoniennes*, Paris, Editions Gallimard.
- NEWTON, Isaac, *Principia mathematica philosophiae naturalis*, ed. Cajori, (1962, University of California Press).
- SILVA, Mário, s/data, *Lições de Física -vol.I*, Coimbra, Livraria Almedina.
- TRUESDELL, C., *Essays in the History of Mechanics*, Berlin, Heidelberg, New York, Springer-Verlag (1975, Madrid, Editorial Tecnos).
- TURNBULL, H. W. (ed.), 1959, *The Correspondence of Isaac Newton* (5 vols), Cambridge, Cambridge University Press,
- VERLET, Loup, 1993, *La malle de Newton*, Paris, Editions Gallimard.
- WESTFALL, Richard, 1996, *Never at Rest. A Biography of Isaac Newton*, Cambridge, Cambridge University Press.
- WHITROW, G.J., 1980, *The Natural Philosophy of Time*, London, Oxford Science Pub..

### (b) e Recomendada

- BLAY, Michel, 1995, *Les «Principia» de Newton*, Paris, Presses Universitaires de France.
- BLAY, Michel, 2002, *La science du mouvement — De Galilée à Lagrange*, Paris, Éditions Belin
- BUCHWALD, Jed Z. and I. Bernard Cohen (ed.), 2001, *Isaac Newton's Natural Philosophy*, Cambridge (Mass.), MIT Press

COHEN, I. Bernard, 1983, *La revolucion newtoniana y la transformacion de las ideas científicas*, Madrid, Alianza Editorial

COHEN, I. Bernard and G.E. Smith, 2002, *The Cambridge Companion to Newton*, Cambridge, Cambridge University Press

JAMMER, Max, 1954, *Concepts of Space*, Cambridge (Mass.), Harvard University Press.

JAMMER, Max, 1961, *Concepts of Mass*, Cambridge (Mass.), Harvard University Press.

MACH, Ernst, 1974, *The Science of Mechanics, A critical and Historical Account of its development*, London, The Open Court Publishing Co.

ROSA, R. N. et al., 1995, *Seminário sobre Newton*, Évora, Universidade de Évora (CEHFC)



# O Princípio da Menor Acção: uma resenha histórica breve e incompleta<sup>1</sup>

## 1. Introdução

Escreveu Planck, passa-se à citação:

«Desde sempre, e até sempre, o objectivo maior a que a Física aspira é à resolução do problema que envolva todos os fenómenos naturais, os observados e os ainda por observar, através de um Princípio simples que satisfaça todas as necessidades de cálculo. Acontece que, pela natureza das coisas, este propósito nunca foi nem será alcançado. Contudo, é possível estar cada vez mais próximo deste objectivo e a história da Física Teórica mostra que já existem resultados importantes neste sentido (...) De entre todas as leis físicas, o **Princípio da Menor Acção** (...) é um dos princípios que, pela sua forma e compreensão, pode considerar-se que mais se aproximou deste objectivo (...)»<sup>2</sup> (PLANCK[TA], 1960: 69)

O Princípio da Menor Acção ou, mais apropriadamente, os princípios de acção estacionária ou princípios variacionais têm um lugar de destaque particular na descrição física da natureza. Estes princípios surgem da suposição que os fenómenos naturais podem ser matematicamente descritos por um processo de minimização (ou, sendo mais preciso, de estacionaridade — máximo ou mínimo —) de uma determinada grandeza física. Sabe-se que todo o processo de cálculo é complexo, envolve algum detalhe analítico, e ele próprio, numa relação de cumplicidade mútua, esteve sempre associado à própria descoberta destes princípios.

A ideia de que a natureza segue um princípio de *esforço mínimo* e de que nada faz em vão, de que poupa e economiza em todos os seus processos é uma ideia bastante antiga que, desde há milénios, procurou ser transportada para os domínios de descrição das leis naturais. Foi o que fez Herão de Alexandria para explicar a igualdade entre os ângulos de reflexão e de incidência da luz.

De entre os vários princípios deste tipo, talvez até pela importância que assume em toda a Física, o **Princípio da Menor Acção** — inicialmente formulado por Maupertuis — foi o que levantou uma maior celeuma. Embora os seus primeiros passos não suscitassem diatribes violentas, os olhares traduziam sobretudo desconfiança e talvez alguma indiferença, é em torno da sua existência, e sobre a genealogia da sua criação, que

---

<sup>1</sup> Este texto foi a base de exposição da 9ª LICÇÃO do 1º Curso Livre de «HISTÓRIA DA CIÊNCIA» (28 de Março de 2006) e constitui o resumo de um livro publicado posteriormente: Fitas, Augusto J. Santos (2012). *O Princípio da Menor Acção: uma história de Fermat a Lagrange*. Lisboa: Caleidoscópio.

<sup>2</sup> Sempre que a tradução seja da nossa responsabilidade, aparecerá na referência, junto ao nome do autor, a indicação [TA], eg (PLANCK [TA], 1960: 69)

estala uma polémica violenta na Academia de Berlim. Uma polémica com foros de drama passional onde só faltaram, para a época, duelos de desafronta, uma polémica que opôs alguns matemáticos e apaixonou alguns académicos, mas os ataques e as palavras duras passaram ao lado da argumentação científica: a querela desenvolveu-se mais numa atmosfera de ataque pessoal, com contornos ideológicos, do que científica. Uma polémica — ainda hoje abundantemente referida — que acabou por ficar célebre, não pela discussão filosófico-científica, mas pela intervenção pública e contundente de um dos espíritos mais brilhante da Europa Iluminista do século XVIII — Voltaire.

Em torno deste princípio, explicita ou implicitamente, há intervenções de todos os grandes espíritos da filosofia natural (e matemática) da época, isto é, dos séculos XVII e XVIII, nomeam-se aqui os mais destacados: Pierre de Fermat (1601-1665); René Descartes (1596-1650); Christian Huyghens (1629-1695); Isaac Newton (1642-1727); Gottfried Leibniz (1646-1716); Jacob Bernoulli, (1654-1705); João (I) Bernoulli, (1667-1748); Pierre-Louis de Maupertuis (1698-1759); Samuel König (1712-1757); Leonard Euler (1707-1783); Daniel Bernoulli (1700-1782); VOLTAIRE (François-Marie Arouet) (1694-1778); Jean D'Alembert (1717-1783); Louis-Joseph Lagrange (1736-1813).

Os antecedentes deste princípio surgem com Fermat ao demonstrar que, geometricamente, a lei da refacção da luz obedece a um princípio de mínimo, isto é, o trajecto seguido pela luz é tal que o seu tempo é **mínimo**; logo aqui a ideia de Fermat foi atacada pelos cartesianos que lhe lançaram o anátema de «princípio moral» retirando-lhe qualquer propósito de ser um «princípio físico». Mas este funcionamento de «mínimo» da natureza, simples hipótese matemática de Fermat, foi sendo, de tempos a tempos, lembrado: primeiro por Leibniz; depois, já na viragem do século, por João Bernoulli e, por último, por Maupertuis e Euler. O contexto de crescimento dentro da filosofia natural deste princípio é marcado pelo debate entre, por um lado, o dinamismo newtoniano e, por outro, a defesa dos princípios de conservação — um dos aspectos mais em evidência na célebre controvérsia entre Leibniz e Samuel Clarke (1675-1729). A versão deste debate para os fundamentos metafísicos da filosofia natural correspondia ao enfrentamento de dois pontos de vista: a sustentação de um «Deus relojoeiro», tal como o entendia Newton, em oposição à existência de uma «harmonia pré-estabelecida» determinada por uma «inteligência superior», defendida por Leibniz. Deste debate, Maupertuis talvez tenha extraído a ideia de um princípio que explicitasse uma inteligibilidade própria para o funcionamento da natureza — essa pré-determinação leibniziana — e que traduzisse

também a intervenção permanente de uma vontade superior — a vigilância do relojoeiro newtoniano. Talvez fosse isto que pretendeu o autor do **Princípio da Menor Acção**... sustenta-se esta conjectura pela marcha histórica das ideias e dos acontecimentos.

É quase no contexto de uma descoberta simultânea que Euler, fustigado pela resolução geral de alguns problemas geométricos de extremos, encontra soluções análogas para outros tantos problemas físicos: existe uma grandeza que obedece a condições de mínimo donde é possível extrair uma solução que, por comparação com métodos já conhecidos, é correcta! Embora haja simultaneidade entre a descoberta de Maupertuis e de Euler do **Princípio da Menor Acção**, há que enfatizar a distinção entre a concepção metafísica e teleológica de princípio de acção geral da natureza, tal como o vê o primeiro, e a interpretação do segundo que se confina a uma entidade matemática característica dos sistemas mecânicos e cujos atributos não são extrapoláveis para a natureza em geral.

Os contributos matemáticos de Euler, herdados da primeira geração dos Bernoulli e acompanhados pela segunda geração deste apelido, na formulação deste princípio constituem as grandes pontes para a construção lagrangeana. Lagrange desenvolveu um novo método para determinar os máximos e mínimos, o «cálculo das variações», que permite encontrar as «fórmulas» do enunciado matemático rigoroso do **Princípio da Menor Acção**. É a vitória deste princípio, uma vitória de Pirro, pois com a publicação, em 1788, da *«Mécanique Analytique»*, é reservado ao Princípio um lugar secundário — enquanto corolário do edifício lógico-dedutivo lagrangeano — reservando-se o lugar principal para o princípio dos trabalhos virtuais...

Será preciso esperar pelo trabalho de Hamilton, reunindo, em 1833, os trabalhos de Fermat, Maupertuis, Euler e Lagrange, abarcando mecânica e óptica, para que **Princípio da Menor Acção**, agora sujeito a um novo enunciado, **Princípio de Hamilton**, assuma de novo o seu papel principal na galeria dos grandes princípios físicos, mas isso são contos para uma outra história.

## 2. Fermat, Descartes e os cartesianos

As discussões e reflexões relativas à elaboração do **Princípio da Menor Acção**, ou de um princípio de mínimo que regulasse determinadas propriedades da natureza, iniciaram-se num debate que opôs Descartes a Fermat a propósito das leis da refacção óptica. Se estas leis foram o pretexto anunciador de uma polémica importante, outras

razões, de carácter quer matemático quer filosófico, alimentaram o debate até ao ponto de se questionar o quadro geral de entendimento da natureza.

Foi o Padre Marin Mersenne (1588-1648), introdutor das ideias de Galileu em França e autor de uma das primeiras e mais importantes teias de contacto entre os eruditos da época, que desencadeou todo o processo. Dentro dos seus múltiplos interesses de matemático e filósofo da natureza, correspondente assíduo de Descartes, Pascal (1588-1651), Roberval (1602-1675), Gassendi (1592-1655) e muitos outros, fez chegar às mãos de Fermat as páginas da *Dioptrica* de Descartes, pedindo-lhe uma opinião sobre esta obra.

Fermat, com uma formação em Leis, interessava-se por matemática e, entre outros temas, estudou métodos algébricos para resolver problemas geométricos e na obra «*Método para determinar os máximos e mínimos e as tangentes a linhas curvas*»<sup>3</sup> desenvolveu um método de determinação de máximos e mínimos o que lhe permitia determinar analiticamente a tangente a uma curva<sup>4</sup>. Em 1636 iniciara a sua correspondência com Roberval e Marin Mersenne, o que corresponde à sua entrada na República das Letras. Na primeira carta que Fermat enviou a Mersenne é manifesta a sua oposição aos argumentos cartesianos, pondo em causa a justificação geométrica da lei da refacção, encarregando-se o seu interlocutor de dar a conhecer a sua opinião a Descartes. O que opôs Fermat a Descartes foi o facto do raio luminoso, ao passar de um meio (menos denso) para outro (mais denso), aumentar a sua velocidade, apesar do último meio oferecer maior resistência ao movimento. Este será sempre o ponto central da discordância, em matéria de Física, entre Fermat e os cartesianos. Em Janeiro de 1638 Descartes responde a Fermat, dirigindo-se a Mersenne, não propriamente sobre o que este escrevera contra a demonstração da refacção, mas pronunciando-se sobre o livro «*Método para determinar os máximos e mínimos*». O facto desta obra estar relacionada com métodos analíticos aplicados à Geometria, suscitará, da parte de Descartes, uma certa animosidade contra a proposta matemática de Fermat, chegando mesmo a conseguir que a obra deste não fosse publicada pelo seu editor holandês, Elsevier (CALINGER, 1999: 517).

Em 1657, o médico e conselheiro do rei Luís XIV, De La Chambre (1596-1669), reconhecido cartesiano, publicou em Paris uma obra, *La Lumière*, e enviou a Fermat um

---

<sup>3</sup> Título original: *Methodus ad disquirendam maximam et minimam*

<sup>4</sup> O método de determinação dos máximos e mínimos de Fermat corresponde a uma forma *avant la lettre* de calcular a primeira derivada; com base naquilo que chamaríamos a razão incremental determina-se a tangente à curva num ponto (GILLESPIE, 1970: 570).

exemplar no sentido de recolher a sua opinião. Este respondeu, apresentando a defesa que a natureza age pela via mais simples:

«Mais il faut passer plus outre et trouver la raison de la réfraction dans notre principe commun, qui est que la nature agit toujours par les voies les plus courtes et les plus aisées.» (FERMAT, 1891, II : 354)

Depois de ter escrito a De La Chambre, Fermat encetou correspondência com Clerselier, o primeiro editor da correspondência de Descartes, pois este pedira-lhe para que, segundo as próprias palavras de Fermat, «*je refasse mes réponses d'alors qui se sont égarées*» (refere-se a respostas a cartas de Descartes). E na primeira carta que lhe enviou, datada de 10 de março de 1658, refez todo o seu raciocínio que punha em causa a demonstração apresentada por Descartes sobre o percurso do raio luminoso no fenómeno da refração óptica. Clerselier e Rohault (1620-1672) respondem-lhe separadamente, tomando a defesa de Descartes. Retorquindo, Fermat dirige-se a De La Chambre, resume toda a polémica, entretanto havida, na frase:

«M. Descartes n'a jamais démontré son principe : car outre que les comparaisons ne servent guère à fonder des démonstrations, il emploie la sienne à contre-sens et suppose même que le passage de la lumière est plus aisé par les corps denses que par les rares, ce qui est apparemment faux» (FERMAT, 1891, II : 457)

E acrescenta no parágrafo seguinte:

«Pour sortir de cet embarras et tâcher de trouver la véritable raison de la réfraction, je vous indiquai dans ma lettre que si nous voulions employer dans cette recherche ce principe si commun et si établi, que *la nature agit toujours par les voies les plus courtes*, nous pourrions y trouver facilement notre compte.» (FERMAT, 1891, II : 458)

E este caminho mais simples corresponde a uma determinação de mínimo feita por intermédio do seu método geométrico. Desta determinação extrai Fermat, para a refração, a lei dos senos, mas com um resultado físico inverso do encontrado por Descartes: a velocidade de propagação da luz seria menor no meio mais denso, o que estaria de acordo com aquilo que intuía e de que já chamara a atenção ao autor da *Dióptrica*.

Clerselier, na carta seguinte, de 6 de Maio de 1662, responde-lhe em nome de todos os cartesianos<sup>5</sup> e pronuncia-se sobre o princípio utilizado por Fermat

«Le principe que vous prenez pour fondement de votre démonstration, à savoir que la nature agit toujours par les voies les plus courtes et les plus simples, n'est qu'un principe

---

<sup>5</sup> «C'est par l'ordre de l'Assemblée qui se tient toutes les semaines chez M. Montmort» (FERMAT, 1891, II : 472).

moral et non point physique, qui n'est point et qui ne peut être la cause d'aucun effet de la nature.» (FERMAT, 1891, II : 465)

A natureza não sabe como agir, portanto não pode tomar essa decisão de tempo mínimo, fisicamente a natureza só pode agir através da acção do movimento sobre os corpos — forma simplificada do mecanismo cartesiano. Os princípios para lá dessa actuação, ou seja, a razão pela qual isso se passa — é assim que pode ser entendido esse princípio de mínimo — está para lá da física, diz respeito ao domínio da metafísica. Atitude que, no ponto de vista dos cartesianos, corresponde às causas finais aristotélicas ou ainda a um princípio que, apelando a uma permanente intervenção de uma super inteligência, regularia todos os actos da natureza. Explicava-se o comportamento da natureza à luz de qualquer coisa que lhe era estranha. Perante esta posição, Fermat pouco mais tem a dizer e a polémica termina com uma sua carta onde escreve:

«Pour la question principale, il me semble que j'ai dit souvent et à M. de la Chambre et à vous que je ne prétends ni n'ai jamais prétendu être de la confidence secrète de la Nature. Elle a des voies obscures et cachées que je n'ai jamais entrepris de pénétrer ; je lui avais seulement offert un petit secours de géométrie au sujet de la réfraction, si elle en eût eu besoin. Mais puisque vous m'assurez, Monsieur, qu'elle peut faire ses affaires sans cela et qu'elle se contente de la marche que M. Descartes lui a prescrite, je vous abandonne de bon cœur ma prétendue conquête de physique, et il me suffit que vous me laissiez en possession de mon problème de géométrie tout pur et *in abstract*, par le moyen duquel on peut trouver la route d'un mobile qui passe par deux milieux différents et qui cherche d'achever son mouvement le plus tôt qu'il pourra» (FERMAT, 1891, II : 483).

Se a física cartesiana não se compadece com o seu — de Fermat — método matemático, paciência, ele mantém o seu princípio. É certo que é um princípio de natureza teleológica, determinado por cálculo matemático, embora não sustentado pela observação empírica...

### **3. Entre Descartes e Newton, passando por Leibniz e não esquecendo os irmãos Bernoulli**

A Física de Descartes assenta em dois conceitos fundamentais. O primeiro supõe a identidade entre extensão ou espaço e a substância material, é a correspondência entre o mundo material e as formas geométricas. Assim, espaço só é concebível em relação à matéria, não tem sentido a noção de espaço independente da matéria, como admitirá Newton com o seu espaço absoluto. Da identificação de extensão com a matéria, Descartes retira duas asserções fundamentais para sua concepção da natureza: a primeira, a negação

da existência de vazio e, consequentemente, da existência de átomos; a segunda, a homogeneidade do espaço entre a Terra e os céus. O segundo conceito fundamental é o de movimento dos corpos. Para Descartes movimento corresponde à alteração de local, extirpa deste conceito toda a ideia aristotélica de alterações das qualidades inerentes ao corpo. O movimento cartesiano não é um processo, mas sim um estado. Para Descartes movimento e repouso são identificados enquanto estados de movimento de um corpo em relação a um ponto de referência já fixado. Contudo, ao estudar o movimento Descartes preocupa-se com a causa, admitindo que «*Deus é a causa primeira do movimento*» e que «*ele age de uma forma que não muda nunca*». A lei fundamental do universo cartesiano é uma lei da conservação. Após a criação, as duas realidades do universo cartesiano, espaço e movimento, perdurarão eternamente. O espaço não muda e o movimento também não. Este é um dos princípios metafísicos que fundamenta toda a física cartesiana — a conservação é um dos pilares metafísicos de toda a física cartesiana. E é o princípio da conservação da quantidade de movimento que enformará os enunciados das sete regras dos choques<sup>6</sup>. Mas as regras do choque estão relacionadas só com o movimento e o estudo do movimento constitui o sentido da Física Cartesiana...

A filosofia de Descartes depois de passar por um período de perseguições oficiais, sobretudo da parte do corpo de professores mais ligado à ortodoxia religiosa, será adoptada pelos filósofos continentais até à implantação do newtonianismo. E um dos nomes que fará essa ponte, com um pé cá, no cartesianismo, e um pé lá, no newtonianismo, foi Christian Huyghens. Huyghens, figura proeminente da Academia de Paris e um admirador das ideias de Descartes, desempenhará um papel primordial nesta transição.

Huyghens desenvolverá grande parte dos seus trabalhos de mecânica tendo presente a conservação — ideia cartesiana — de uma outra quantidade  $mv^2$ , aquela a que Leibniz chamará *vis viva*. É o que acontece quando põe em causa as regras dos choques estabelecidas por Descartes e, entre outras correcções, mostra que no caso do choque ser elástico há conservação da *vis viva*. Na quarta parte do seu *Horologium Oscillatorium*<sup>7</sup>, ao estudar o problema do centro de oscilação do pêndulo composto, Huyghens avança com a hipótese,

«(HYPOTHESIS I) Si les poids que l'on veut commencent à être mûs par la force de leur gravité, le centre de gravité, le centre de gravité de leur ensemble ne peut

---

<sup>6</sup> Em que só a primeira está correcta (DUGAS, 1954).

<sup>7</sup> Conforme referido na Bibliografia, utilizou-se a tradução francesa desta obra.

s'élever plus haut que le lieu où il se trouvait en commençant.» (HUYGHENS, s/d : 103)

O que corresponde ao que será a conservação da *vis viva* leibniziana.

Na Óptica o modelo de Huyghens para a propagação da luz corresponde à transmissão por contacto de uma perturbação num meio sem vazio — espécie de choque sucessivo de bolas elásticas — com uma velocidade finita e onde se verifica que esta seria menor no meio mais denso tal como pensava Fermat. Note-se que esta transmissão num meio sem vazio correspondia, no pensamento cartesiano, à identificação entre a extensão e a matéria; esta acção por contacto corresponde ao conhecido Princípio de Huyghens da propagação ondulatória.

Os resultados de Huyghens vão pesar na opinião de Leibniz que, embora atacando a física cartesiana, em particular o princípio da conservação da quantidade de movimento, se manifestará um partidário da conservação. Em 1691 no Ensaio da Dinâmica sobre as Leis do Movimento, escreverá

«(...) c'est la force vive absolue ou qui s'estime par l'effet violent qu'elle peut produire qui se conserve et nullement la quantité de mouvement. Car si cette force vive pouvait jamais s'augmenter il y aurait l'effet plus puissant que la cause ou bien le mouvement perpétuel mécanique, c'est-à-dire qui pourrait reproduire sa cause et quelque chose de plus, ce qui est absurde. Mais si la force se pouvait diminuer, elle périrait enfin tout à fait, car ne pouvant jamais augmenter et pouvant partout diminuer elle irait toujours de plus en plus en décadence, ce qui est sans doute contraire à l'ordre des choses. L'expérience le confirme aussi et on trouvera toujours que si les corps convertissaient leurs mouvements horizontaux en mouvement d'ascension ils pourraient toujours élever en somme le même poids à la même hauteur avant ou après le choc, supposé que rien de la force n'ait été absorbé dans le choc par les parties des corps, lorsque ces corps ne sont pas parfaitement élastiques, sans parler de ce qu'absorbe le milieu, la base et autres circonstances.» (in DUGAS, 1954 : 483).

Para Leibniz o que está em causa é a conservação da quantidade  $mv^2$ , a *vis viva*, isto é, retoma a hipótese de Huyghens. Toda a sua mecânica assenta neste princípio<sup>8</sup>. Tal como os seus contemporâneos, Leibniz interessou-se também pela óptica, publicando a obra *Unicum Opticae, catoptricae et dioptricae principium* (1682), onde tentou demonstrar as leis da óptica, em particular a lei de Snell-Descartes da refacção, servindo-se de um princípio de natureza teleológica, também muito semelhante ao de Fermat. Como o afirmará mais tarde

---

<sup>8</sup> Independentemente da conservação, a oposição entre estes dois conceitos, quantidade de movimento e força viva, ou a natureza da grandeza responsável pelo movimento, abrirá, desde o final do século XVII e o primeiro quartel do século XVIII, a célebre disputa sobre as forças vivas (COSTABEL, 1983).



«Aussi tiens-je que Snellius qui est le premier inventeur des règles de la réfraction aurait attendu longtemps à les trouver s'il avait voulu chercher premièrement comment la lumière se forme. Mais il a suivi apparemment la méthode dont les anciens se sont servis pour la catoptrique (entendons Heron), qui est en effet par les finales. Car cherchant la voie la plus aisée pour conduire un rayon d'un point donné à un autre point donné par la réflexion d'un plan donné (supposant que c'est le dessein de la nature), ils ont trouvé l'égalité des angles d'incidence et de réflexion, comme l'on peut voir dans un petit traité d'Héliodore de Larisse, et ailleurs. Ce que M. Snellius, comme je crois, et après lui (quoique sans rien savoir de lui), M. Fermat ont appliqué plus ingénieusement à la réfraction. Car lorsque les rayons observent dans les mêmes milieux la même proportion des sinus qui est aussi celles des résistances des milieux, il se trouve que c'est la voie la plus aisée ou du moins la plus déterminée pour passer d'un point donné dans un milieu à un point donné dans un autre» (in GRAVE, 1998a : 468).

Leibniz defende o «caminho mais fácil» para vencer a resistência do meio. E maior resistência do meio significa que o raio tem maior dificuldade em penetrar nele ou, por outras palavras, que, para ele, o meio é mais compacto. Deste modo ao penetrar num meio mais compacto, mais «apertado», o raio adquire uma maior velocidade, conclusão que estaria de acordo com Descartes e não com Fermat. Leibniz não se coibiu a um mergulho na metafísica:

«À mon avis, c'est par des raisons déterminées de sagesse et d'ordre que Dieu en est arrivé à l'obligation d'établir ces lois que l'on observe dans la nature; d'où il apparaît même, ce que j'ai personnellement fait remarquer autrefois à l'occasion d'une loi optique et que Molyneux a, dans sa Dioptrique, fort approuvé ensuite, que la cause finale ne sert pas seulement à la vertu et à la piété en éthique et dans la théologie naturelle, mais encore dans la physique elle-même pour trouver et découvrir les vérités cachées». (in BRUNET, 1938 : 13).

Há aqui uma tentativa de fundamentação do seu princípio teleológico, tentação a que Fermat nunca cedeu. Esta postura diferente entre dois defensores de um princípio teleológico na explicação do fenómeno da refacção terá muito a ver com as atitudes diferentes perante a explicação dos fenómenos naturais: enquanto que Leibniz procurou construir um sistema de explicação do mundo natural, Fermat quedou-se pela forma matemática, pura e simples, de explicar um determinado fenómeno, sem qualquer pretensão de ir mais além.

A par do que já foi dito sobre os trabalhos de mecânica e de óptica de Leibniz, é preciso sublinhar que, em 1684, publicou na *Acta Eruditorum* (publicação que iniciara a sua existência dois anos antes), um artigo, *Nova methodus pro maximis et minimis, itemque tangentibus*,

*quae nec fractas, nec irrationales quantitates moratur, et singulare pro illis calculi genus*<sup>9</sup>, onde expõe um método que, matematicamente, permite a determinação, através do conceito de derivada, de pontos notáveis, de uma curva, máximos ou mínimos, bem como de outras suas características tais como a concavidade ou convexidade e os pontos de inflexão. E como ilustração das potencialidades deste novo método de cálculo, hoje chamado de cálculo diferencial, que Leibniz propôs alguns problemas e, entre estes, encontrava-se o célebre cálculo da determinação do ângulo de refração, já avançada por Snell e também já demonstrada por Fermat utilizando o princípio do percurso de tempo mínimo. Assim, para Leibniz, associado à conservação poderá estar a procura de *«la voie la plus aisée»*, o que poderá implicar a noção matemática de máximo ou mínimo que lhe fora sugerido pelo cálculo diferencial, no fim das contas aquilo que Fermat intuía trinta anos antes...

Para Fermat o seu princípio de mínimo era de índole matemática e sustentado pela comprovação empírica da lei de Snell, jamais invocou qualquer generalização para o comportamento geral da Natureza. Para Descartes e os seus seguidores este princípio correspondia, no mesmo nível, à defesa da conservação, isto é, ao pilar metafísico da sua física; então havia que combater o Princípio de Fermat porque ele não apresentava uma argumentação sustentada no movimento — justificação física — mas a sua razão de ser jazia no domínio da metafísica enquanto princípio de causas finais ou de natureza teleológica. Huyghens defende o pilar metafísico de Descartes, a conservação, mas aplicado ao que viria a chamar-se *vis viva*, que é o axioma dos seus estudos mecânicos. Huyghens aplica a conservação da *vis viva* enquanto princípio físico, liberto de argumentação metafísica; aqui o sábio holandês aproxima-se da postura de Fermat. Para Leibniz a conservação desta grandeza poderá estar englobada num grande princípio de «causas finais» em que, tal como já foi descrita, a intervenção sobrenatural é sublinhada, *«c'est par des raisons déterminées de sagesse et d'ordre que Dieu en est arrivé à l'obligation d'établir ces lois que l'on observe dans la nature»*.

Estas leis poderão conter, ou sugerir, um comportamento de máximo ou mínimo, de tal modo que, uns anos mais tarde, alguém atribuirá a Leibniz a autoria de um texto, contido numa carta sua, e que é o seguinte:

«L'action n'est point ce que vous pensez, la considération du temps y entre; elle est comme le produit de la masse par le temps, ou du temps par la force vive. J'ai remarqué que, dans les modifications des mouvements, elle devient ordinairement

<sup>9</sup> *Um novo método para os Máximos e Mínimos bem como para as tangentes...* («A new method for maxima and minima as well as tangents, which is impeded by neither fractional nor irrational quantities, and a remarkable type of calculus for them»)

un maximum ou un minimum. On en peut déduire plusieurs propositions de grande conséquence : elle pourrait servir à déterminer les courbes que décrivent les corps attirés à un ou plusieurs centres. Je voulais traiter de ces choses entre autres dans la seconde partie de ma Dynamique, que j'ai supprimée, le mauvais accueil que le préjugé a fait à la première m'ayant dégoûté» (in BRUNET, 1938 : 11).

Onde a grandeza *ação*, relacionada com a força viva, aparece, pela primeira vez, mencionada na sua característica de *máximo ou mínimo* e que serviria para estudar o movimento. É com Leibniz, na esteira do que já fizera Fermat mas de uma forma muito mais potente, que se abre, por via da sua criação do cálculo diferencial, a resolução de problemas concretos da Física através da determinação de máximos ou mínimos.

Os irmãos Bernoulli foram os grandes interlocutores de Leibniz nesta atitude pragmática — resolução matemática de problemas concretos — e fizeram escola pelas suas contribuições para este tipo de desenvolvimento da mecânica racional: partindo da resolução de problemas particulares criar novos princípios e métodos (TRUESDALL, 1975: 98). É também através de Leibniz que se associa à descrição de um princípio físico a ideia de *causa final*, ou a leitura da intervenção divina nas leis naturais. Estes pontos de vão estar claramente expressos na polémica que manterá com Newton através de Samuel Clarke...

Isaac Newton (1642-1727) escreveu no *General Scholium*, com que encerra os *Principia*,

«(...) a god without dominion, providence, and final causes, is nothing else but Fate and Nature (...) all the diversity of natural things which we find suited to different times and places could arise from nothing but the ideas and will of a Being necessarily existing». (NEWTON, 1960: 546)

Aqui, Deus, ou o princípio teleológico, intervém no instrumento, na razão e na determinação, mas as leis revelam-se pelo funcionamento da Natureza, não por qualquer razão pré-estabelecida ou argumentação em torno de causas finais, não há necessidade de invocar qualquer finalismo subentendido nas ideias de conservação ou de tempo mínimo. Isto é, o newtonianismo manifesta-se contra a ideia de «*o mundo ser uma grande máquina, movendo-se sem a intervenção de Deus*», o que implicaria que qualquer princípio da conservação tornaria supérflua, desnecessária, essa intervenção. Esta oposição de Newton à ideia de conservação é de tal modo veemente que, pela pena do seu discípulo Samuel Clarke, sustentou, contra Leibniz,

«The notion of the world's being a great machine, going on without the interposition of God, as a clock continues to go without the assistance of a clockmaker, is the notion of materialism and fate, and tends, (under pretence of making God a supra-mundane intelligence) to exclude providence and God's government in reality out of the world.» (ALEXANDER, 1976 : 14)

Recorrendo a uma argumentação teológica muito própria, é clara a sua não aceitação de um qualquer princípio de conservação como causa explicadora do movimento no universo; deverão existir forças originais responsáveis pelo movimento, contudo Newton não se preocupou com a explicação da origem dessas mesmas forças. O problema das causas finais não está no seu horizonte...

Na óptica, a solução de Newton é muito semelhante à de Descartes e contraria a conclusão de Fermat e Huyghens. Por outro lado, introduz um conceito de índole muito equivalente aos «percursores mais fáceis de Leibniz»: é a teoria dos acessos de fácil reflexão e de fácil transmissão («*Fits of easy Reflection*» e «*Fits of easy Transmissiom*») — definição seguinte à duodécima proposição do livro segundo, parte terceira — para explicar os fenómenos das lâminas delgadas (NEWTON, 1979: 281). Newton também escorregou em argumentos de natureza claramente teleológica e metafísica.

Afastados da controvérsia das causas finais, não se pronunciando sobre a metafísica dos princípios, mas embrenhados na matemática, os irmãos Bernoulli, Jacob e João (I), foram os primeiros matemáticos a entender o cálculo de Leibniz, passando rapidamente de aderentes entusiastas a proponentes de novos problemas para serem resolvidos pelo novo método. É importante prestar atenção ao papel que desempenharam, porque a sua influência será determinante no rigor da formulação matemática do **Princípio da Menor Acção** o que contribuirá para afastar este princípio das interpretações finalistas ou metafísicas.

Em 1687 Leibniz propusera a determinação da sua isócrona, «*uma curva descrita por uma partícula sob a acção do peso uniforme e cuja velocidade na vertical fosse constante*», problema que Jacob Bernoulli, o fundador desta importante dinastia de matemáticos, resolve em 1690, mostrando que a solução é uma parábola semicúbica  $y^2 = kx^3$ . O mesmo Bernoulli propôs então o problema da catenária ou «*a determinação da curva descrita por um fio quando deixado cair livremente e estando suspenso entre dois pontos fixos*»<sup>10</sup>. Galileu pensara que a curva que resolvia este problema era uma parábola, mas estava errado. O problema vai ser resolvido

---

<sup>10</sup> Cujo enunciado original é o seguinte: «*Invenire quam curvam referat funis latus inter duo puncta fixa libere suspensus. Sumo autem, funem esse lineam in omnibus suis partibus facillime flexilem*»

por Leibniz, Huyghens e João (I) Bernoulli nas *Acta Eruditorum* de junho de 1691. Este último encontrará a solução por intermédio do cálculo infinitesimal, chegando à equação diferencial  $\frac{dy}{dx} = \frac{s}{c}$ , onde  $s$  representa o comprimento do arco entre os dois pontos de suspensão e  $c$  é uma grandeza que depende do peso específico do fio, a solução é dada pela expressão  $y = c \cosh\left(\frac{x}{c}\right)$ . João (I) Bernoulli, o segundo da dinastia Bernoulli e que se sentia ofuscado pelo talento do seu irmão mais velho, ficou extremamente vaidoso por ter conseguido resolver este problema, coisa que o seu irmão, o proponente, não conseguira. Entre outros problemas, ou desafios, que os Bernoulli lançam aos matemáticos da época, está, por exemplo, o célebre problema da braquistócrona — proposto, em 1696, por João (I) Bernoulli — «*linha percorrida por um ponto material quando se desloca de uma posição para outra ao longo da trajectória que corresponda ao menor intervalo de tempo*». Este desafio era especialmente dirigido a Newton<sup>11</sup> e, de acordo com o relato da sobrinha deste, Catarina Barton:

«When the problem in 1697 was sent by Bernoulli - Sir I. N. was in the midst of the hurry of the great recoinage did not come home till four from the Tower very much tired, but did not sleep till he had solved it which was by 4 in the morning».

E, em 30 de Janeiro Newton enviava uma carta a Charles Montagu, Presidente da Royal Society, onde constavam as soluções dos problemas em causa e que virão a ser publicadas anonimamente nos *Philosophical Transactions* desse mesmo mês. É o próprio Bernoulli que escreve:

«Although it's author, in excessive modesty, does not reveal his name, we can by certain beyond any doubt that the author is the celebrated Mr. Newton: for, even if we had no information other than this simple, we should have recognized him by his style even as the lion by its paw (...)».

Não interessa a solução de Newton<sup>12</sup> mas, sim, a de Bernoulli. Bernoulli vai transformar o problema mecânico da braquistócrona, num problema de óptica e aplica o princípio de Fermat, abrindo o caminho ao cálculo variacional.

Em 1697, Jacob Bernoulli levanta o problema mais geral dos isoperímetros, isto é, *de entre as linhas com o mesmo perímetro quais as que deveriam satisfazer a determinadas condições de máximo ou mínimo*. Se se exceptuar a braquistócrona, todas as outras linhas podem ser

<sup>11</sup> Parece que ao seu desafio não responderam os matemáticos de França, dos Países Baixos e de além Mancha, o que o levou a prolongar o prazo de resposta, por proposta de Leibniz, até meados de 1697. Os problemas (além do problema da braquistócrona, Bernoulli juntara um outro) foram publicados nos *Philosophical Transactions* e no *Journal des Savants*, tendo Wallis e Newton recebido cópias pessoais.

<sup>12</sup> Newton, Leibniz, L'Hospital e Jacob Bernoulli também encontraram soluções correctas para o problema e que foram publicadas nas *Acta Eruditorum*.

reagrupadas dentro deste problema mais geral — Leonardo Euler mostrará que assim é numa publicação de 1744. Uma publicação que fará história no estabelecimento do **Princípio da Menor Acção**. É pela via do cálculo Diferencial e Integral, não por quaisquer considerações ligadas às causas finais de Leibniz, que Euler é lançado nos problemas de máximos e mínimos.

#### 4. Maupertuis e o *Princípio da Menor Acção* ou um novo princípio metafísico

Em 1744, Pierre-Louis Moreau de Maupertuis apresentou na Academia Francesa uma comunicação intitulada «*L'accord de différentes lois de la nature qui avaient jusqu'ici paru incompatible*», onde retomava a polémica entre Fermat e Descartes, ou os cartesianos, e, sobre o mesmo tema, relembra a posição de Leibniz. Historiando o problema, escrevia:

«Ce fait posé, que la lumière se meut le plus vite dans les milieux les plus denses, tout l'édifice que Fermat et Leibniz avaient bâti est détruit: la lumière, lorsqu'elle traverse différents milieux, ne va ni par le chemin le plus court, ni par celui du temps le plus prompt; le rayon qui passe de l'air dans l'eau, faisant la plus grande partie de sa route dans l'air, arrive plus tard que s'il n'y faisait que la moindre. On peut voir dans la mémoire que M. Mayran a donné sur la réflexion et la réfraction, l'histoire de la dispute entre Fermat et Descartes, et l'embarras et l'impuissance où l'on a été jusqu'ici pour accorder la loi de la réfraction avec le principe métaphysique» (MAUPERTUIS, 1744 : 419-20)

É claro que Maupertuis recusa a hipótese de Fermat — a luz move-se mais lentamente nos meios mais densos — adoptando em todo o seu raciocínio a hipótese contrária, defendida por Descartes, Newton e Leibniz. É importante sublinhar que, fazendo fé em Mairan, Maupertuis coloca Fermat e Leibniz no mesmo saco, o que como já se viu não é verdade<sup>13</sup>.

Na última frase da transcrição levanta, ao de leve, o véu sobre os objectivos do seu trabalho: eliminar as possíveis contradições entre o enunciado de todas as leis da natureza e um princípio metafísico geral. Expondo as suas reflexões, propunha que uma determinada grandeza física assumisse, nos processos em estudo (reflexão e refacção), o valor de mínimo:

---

<sup>13</sup> O próprio Maupertuis, mais tarde, reconhecerá a confusão :«Lorsque nous lûmes le mémoire précédent dans l'Académie Royale des Sciences de Paris, nous ne connaissions ce que Leibniz avait fait sur cette matière que par ce qu'en a dit M. de Mairan dans son mémoire sur la réflexion des corps, Mémoires de l'Académie de Paris, 1723. Nous avons confondu comme lui ce sentiment de Leibniz avec celui de Fermat» (MAUPERTUIS, 1756, IV : 23).

«Mais ce fonds, cette *quantité d'action* que la nature épargne dans le mouvement de la lumière à travers différents milieux, le ménage-t-elle également lorsqu'elle est réfléchié par des corps opaques, et dans sa simple propagation? Oui, *cette quantité est toujours la plus petite qu'il est possible*.

Dans les deux cas de la réflexion et de la propagation, la vitesse de la lumière demeurant la même, la plus petite quantité d'action donne en même temps le chemin le plus court et le temps le plus prompt. Mais ce chemin le plus court et le plus tôt parcouru n'est qu'une suite de la plus petite quantité d'action; et c'est cette suite que Fermat avait prise pour le principe.» (MAUPERTUIS, 1744 : 425)

Avançava assim com o enunciado de um outro princípio, um princípio de mínimo, a que estaria sujeita a grandeza física que ele designa por **acção**; é aqui que aparece pela primeira vez o conhecido **Princípio da Menor Acção** e uma ideia base é estabelecida: pelo facto da *quantidade de acção ser mínima* a natureza «poupa» (épargne), o que corresponde à defesa de um princípio de economia de meios. Finaliza a sua comunicação com as reflexões seguintes:

«Je connais, y est-il dit, la répugnance que plusieurs mathématiciens ont pour les causes finales appliquées à la physique, et l'approuve même jusqu'à un certain point; j'avoue que ce n'est pas sans péril qu'on les introduit: l'erreur où sont tombés des hommes tels que Fermat et Leibniz en les suivant ne prouve que trop combien leur usage est dangereux. On peut cependant dire que ce n'est pas le principe qui les a trompés, c'est la précipitation avec laquelle ils ont pris pour le principe ce qui n'était que des conséquences.

On ne peut pas douter que toutes choses ne soient réglées par un Être suprême, qui, pendant qu'il a imprimé à la matière des forces qui dénotent sa puissance, l'a destinée à exécuter des effets qui marquent sa sagesse; et l'harmonie de ces deux attributs est si parfaite que sans doute tous les effets de la nature se pourraient déduire de chacun pris séparément. Une mécanique aveugle et nécessaire suit les desseins de l'Intelligence la plus éclairée et la plus libre; et, si notre esprit était assez vaste, il verrait également les causes des effets physiques, soit en calculant les propriétés des corps, soit en recherchant ce qu'il y avait de plus convenable à leur faire exécuter. » (MAUPERTUIS, 1744 : 425)

O **Princípio da Menor Acção** tem um alcance muito maior do que o de uma simples lei natural, ele constitui o princípio pelo qual age essa «Inteligência» superior responsável por toda e qualquer acção natural e fá-lo sempre com o propósito de «poupar» ou «economizar os seus meios». Ele é, segundo o seu autor, o grande princípio metafísico donde se pode extrair a Lei de Snell e outras leis naturais. Note-se que, embora os cálculos matemáticos correspondam a uma repetição do que fizera Fermat, agora aplicando a noção de diferencial, eles não estão correctos.

Maupertuis era uma personagem influente e respeitada no meio académico. É o próprio D'Alembert que, no «*Discours préliminaire de l'Encyclopedie*», o define da seguinte forma:

«Maupertuis fut le premier qui ait osé parmi nous se déclarer ouvertement newtonien. Il a cru qu'on pouvait être bon citoyen sans adopter aveuglément la physique de son pays, et pour attaquer cette physique il a eu besoin d'un courage dont on doit lui savoir gré».

O seu contacto com a teoria de Newton deveria ter acontecido quando estivera em Londres em 1728 e será o seu arauto no continente ao publicar o «*Discours sur les différentes figures des astres*», um discurso ousado para ser pronunciado no meio da cidadela cartesiana que era a Academia de Paris. Voltaire, que, quando do seu exílio inglês, talvez se tivesse cruzado com ele, pediu-lhe, a propósito das suas «*Lettres philosophiques*» que ele fizesse a sua revisão. E perante o seu êxito na expedição à Lapónia<sup>14</sup>, Voltaire louvou-o em verso,

«Le Globe mal connu qu'il a su mesurer,  
Devient un monument ou sa gloire se fonde;  
Son sort est de fixer la figure du Monde,  
De lui plaire, et de l'éclairer».

não se coibindo, em Junho de 1738, de aconselhar Frederico II da Prússia a tomá-lo como Presidente da futura Academia Real de Ciências e Letras de Berlim.

Perante isto, pergunta-se: como conciliar o ponto de vista de um newtoniano (o que seria suposto Maupertuis ser), negando qualquer princípio teleológico e de conservação, com o de apóstolo da existência de um princípio metafísico de carácter finalista, matematicamente contido numa expressão de extremo, que regulasse todos os princípios naturais? Procurem-se outras influências...

Se em 1728, quando da sua estada em Londres, Maupertuis absorvera a influência Newtoniana e tornara-se um dos seus primeiros defensores, no ano seguinte deslocou-se a Basileia onde assistiu a aulas de Jacob Bernoulli que, muito provavelmente, lhe passou a influência do cálculo Leibniziano (GRAVE, 1998a: 470), os segredos do trabalho com problemas de máximo a mínimo e talvez ainda a ideia de conservação, neste caso a conservação da *vis viva*.

Antes da comunicação de 1744, Maupertuis já tinha publicado, em 1726, um trabalho «*Sur une question de maximis et minimis*», e, em 1740, uma outra comunicação sobre

---

<sup>14</sup> Se para os newtonianos a forma da terra era achatado nos pólos, para os seus adversários filosóficos, que eram os cartesianos, ela, contrariamente, seria achatada no plano equatorial. A Academia francesa propôs uma missão ao Peru, onde se deslocaram, em 1735, Bouguer, La Condamine e Godin, para determinar as dimensões do arco de meridiano terrestre, e Maupertuis propôs uma outra missão à Lapónia, onde participaram, além dele, Clairaut e Celsius; da confrontação das medidas feitas pelos dois grupos, concluiu-se pelo achatamento nos pólos, tal como Newton previra.



«*Loi du repos des corps*». Nesta última expôs, logo a abrir o texto, algumas reflexões gerais sobre os fundamentos da ciência:

«Si les sciences sont fondées sur certains principes simples et clairs dès le premier aspect, d'où dépendent toutes les vérités qui en sont l'objet, elles ont encore d'autres principes, moins simples à la vérité, et souvent difficiles à découvrir, mais qui étant une fois découverts, sont d'une très grande utilité. » (MAUPERTUIS, 1740 : 170).

Deste seu texto pode perceber-se que as ciências (a Mecânica) fundam-se nas três leis de Newton que acompanhadas por considerações de ordem geométrica conduzem à resolução dos problemas, contudo, existem outros princípios, menos acessíveis e difíceis de descobrir que são de uma grande utilidade. Aos primeiros chama-lhes Princípios do 1º tipo e aos nomeados em último lugar, Princípios do 2º tipo, como é o caso da descida máxima do centro de gravidade, da conservação das forças vivas e daquele outro que se propõe agora acrescentar — a sua lei do repouso. Em certas ocasiões, ou perante certos problemas, são estes Princípios de 2º tipo, enquanto leis da natureza, que vão ser utilizados. Os primeiros princípios (1º tipo) são de natureza contingente, não necessitam de demonstração (vislumbra-se aqui a querela importante entre a natureza contingente e necessária dos princípios da mecânica de que D'Alembert será um dos principais arautos<sup>15</sup>) enquanto que os segundos, não podendo também ser alvo de demonstração rigorosa, eles, como escreve Maupertuis, parágrafos adiante,

«semblent appartenir à quelque science supérieur» (MAUPERTUIS, 1740 : 170)

O seu **Princípio da Menor Acção** enunciado em 1744 enquadra-se perfeitamente neste princípio do segundo tipo, espécie de princípio geral enformador do comportamento global da natureza. Nesta memória de 1740, Maupertuis, ignorando o que Varignon (1654-1722)<sup>16</sup> já tinha feito, enuncia a lei:

«pour que le système soit en équilibre, *il faut que le centre de gravité de tous les corps qui le composent soit le plus bas ou le plus haut qu'il soit possible, ou le plus près ou le plus loin du centre de force*. Et ce principe fondamental de la statique ordinaire n'est qu'une suite et un cas particulier du nôtre» (MAUPERTUIS, 1740: 173).

---

<sup>15</sup> Nos princípios da mecânica (axiomas), fazia-se a distinção entre os princípios de natureza *necessária* (de natureza estritamente matemática) e os de natureza *contingente* ou fundamentados unicamente na experiência. No caso da Segunda lei de Newton pertencer ao segundo grupo, o edifício da mecânica era de natureza contingente, embora, esta contingência não se estendesse a toda a mecânica, pois uma parte dela decorria da dedução de princípios de natureza necessária. Um dos programas no século XVIII, consistia em alargar o mais possível o campo da natureza necessária sem entrar em contradição com a contingência, em geral, da Natureza no que dizia respeito à liberdade de acção do Criador, na medida em que só podia escolher uma possibilidade entre várias.

<sup>16</sup> Um princípio apresentado na sua *Nouvelle Mécanique* (obra póstuma publicada em 1725), na sequência de uma carta de João Bernoulli, o princípio dos trabalhos virtuais (PANZA, 1995: 450).

Aos olhos de Maupertuis, esse princípio fundamental da estática (a posição do centro de gravidade) deverá obedecer ao seu princípio de máximo ou mínimo que é mais geral. Percebe-se assim que a procura de um princípio geral, caracterizado anteriormente, enformador do comportamento da natureza era uma preocupação fundamental das reflexões de Maupertuis.

Desde 1740 que, de uma forma insistente, Frederico II procurou envolver Maupertuis no seu esforço para relançar a Academia de Berlim. Para além do seu prestígio, foi talvez a figura de Voltaire e a sua influência no monarca prussiano, a par da admiração incondicional que este dedicava à cultura francesa, que mais contribuíram para que Maupertuis fosse convidado para estar à frente da Academia. Em 1746 Maupertuis é nomeado por Frederico II presidente da Academia de Berlim. É Maupertuis que redige o regulamento da Academia que o imperador anota pelo seu próprio punho, notas que Maupertuis transcreve, onde Frederico II se refere ao presidente por si nomeado:

«aura la présidence indépendamment des rangs sur tous les Académiciens (...) rien ne se fera que par lui, ainsi qu'un Général gentilhomme commande des Ducs et des princes dans une armée sans que personne ne s'en offense (...) aura l'autorité de dispenser les pensions... selon qu'il jugera convenable, il présidera dessus les Curateurs dans les affaires économiques..., les élections, les séances, les prix, les découvertes...» (MAUPERTUIS, 1756, III: 307 ).

Ao nível da Academia berlinense, Maupertuis é o imperador, tudo depende da sua vontade. Frederico II estava empenhado numa Academia com prestígio e, mesmo antes de chamar Maupertuis, já chamara alguns importantes talentos matemáticos como era o caso de Leonardo Euler. Euler estava em Berlim desde meados de 1741, era o director da classe de matemáticas da Academia, actuava também com presidente interino, mais tarde será Presidente substituto, mas nunca será chamado a Presidente efectivo.

Voltando ao tema do **Princípio da Menor Acção**, Maupertuis escreverá, em 1746, «*Les lois du mouvement et du repos déduites d'un principe métaphysique*» que será publicado nas Memórias da Academia das Ciências de Berlim em 1748. Aqui vai estender o seu princípio, para lá da aplicação que já fizera à Óptica, ao estudo de problemas de movimento, o choque entre corpos, e de estática, equilíbrio entre corpos. Concluindo :

«dans le choc des corps, le mouvement se distribue de manière que la quantité d'action, que suppose le changement arrivé, est la plus petite qu'il soit possible. Dans le repos, les corps qui se tiennent en équilibre doivent être tellement situés que, s'il leur arrivait quelque petit mouvement, la quantité d'action serait la moindre» (BRUNET, 1938: 7).

Dos casos tratados nos artigos nos anos de 1740, 1744 e neste, sem qualquer cuidado matemático, mas eivado de uma profunda crença de que tinha encontrado o grande princípio, expõe as suas preocupações teleológicas fundamentais:

«Quelle satisfaction, pour l'esprit humain, en contemplant ces lois, qui sont le principe du mouvement et du repos de tous les corps de l'univers, d'y trouver la preuve de l'existence de Celui qui le gouverne» (in BRUNET, 1938: 7)

Parecia ser este o desiderato a alcançar uma lei geral de comportamento da natureza que evidenciasse à sociedade a «*preuve de l'existence de Celui qui le gouverne*». Para Maupertuis, a conservação de Descartes e Leibniz era, no fim das contas, subtrair a Natureza à acção de Deus, pois se, perante qualquer mudança, tudo se resolvia com a conservação, não haveria lugar para a intervenção ajustada da divindade. E no «*Essai de Cosmologie*», publicado em 1750, espécie de sùmula do seu pensamento, uma obra completamente despojada de qualquer tratamento matemático, Maupertuis, criticando Descartes e os cartesianos, Newton e os newtonianos, Leibniz e os Leibnizianos, escreve

«Jusqu'ici la Mathématique n'a guère eu pour but que des besoins grossiers du corps, ou des speculations inutiles de l'esprit : on n'a guère pensé à en faire usage pour démontrer ou découvrir d'autres vérités que celles qui regardent l'étendue & les nombres (...) Voyons si nous pourrions faire un usage plus heureux de cette science. Les preuves de l'existence de Dieu qu'elle fournira auront sur toutes les autres l'avantage de l'évidence, qui caractérise les vérités mathématiques, ceux qui n'ont pas assez de confiance dans les raisonnements métaphysiques, trouveront plus de sûreté dans ce genre de preuves (...)»(MAUPERTUIS, 1756, I: 22-23) .

Os pressupostos metafísicos de Maupertuis que enformam todo o seu pensamento são claros e contra eles levantar-se-á uma forte reacção do mundo científico de então. Mas, em alternativa, oferece a evidência de uma verdade matemática que é o seu **Princípio da Menor Acção**, é a tentativa de provar a existência de Deus através de um princípio matemático que revelasse a forma superior de inteligentemente governar a natureza. Aquilo que Voltaire acusará mais tarde Maupertuis de

«dans une brochure intitulée Essai de Cosmologie, prétendit que la seule preuve de l'existence de Dieu est  $AR + nRB$ , qui doit être un minimum»<sup>17</sup>.

Maupertuis, embora defendendo um princípio teleológico, unificador do conhecimento, afasta-se da concepção conservacionista defendida por Descartes e Leibniz, pois concebeu o seu **Princípio da Menor Acção** com a «marca newtoniana», isto é, uma natureza que ao agir apelasse permanentemente à intervenção desse «Ser» e que, tal como dissera Newton, se comportasse como um relógio que tem necessidade da intervenção do

---

<sup>17</sup> Ver citação na página 23

relojeiro: uma natureza que em cada passo sabe agir dentro da estratégia de «poupar». É nesta justificação que Maupertuis recebe a influência metafísica de Leibniz para o seu princípio e, embora a natureza deste princípio tenha o vírus newtoniano, outras influências se fazem sentir, como, por exemplo, a ausência completa, mesmo implícita, a qualquer referência ao conceito de força — o que revela um denominador comum aos geómetras «continentais», como é o caso de d'Alembert. Talvez por esta via se compreendam os motivos pelos quais Maupertuis nunca alinhará no campo dos leibnizianos. O **Princípio da Menor Acção** saído dos trabalhos de Maupertuis é essencialmente um enunciado de generalização metafísica, matematicamente muito pouco, ou quase nada, trabalhado, mas obedecendo aquela ideia, muito cara, ao período iluminista de uma suposta harmonia entre a «razão» e a «natureza» — uma grande confiança nos fundamentos da estrutura intelectual do mundo.

Em Berlim estava Euler e Euler vai ter um papel importantíssimo na afirmação do **Princípio da Menor Acção**.

## 5. Euler e o estabelecimento Matemático do PMA

Euler que foi um aluno brilhante de João (I) Bernoulli na Universidade de Basileia e começou a sua carreira na capital da Rússia, S. Petersburgo, para onde foi chamado, em 1727, pelo seu amigo Daniel Bernoulli (1700-1782). Em 1733 Daniel Bernoulli abandonou a Rússia para regressar à Suíça, Euler sucedeu-lhe como professor de Geometria. É fruto do seu trabalho na capital da Rússia a publicação, em 1737, da sua célebre *Mechanica, sive motus scientia analytice exposita* que é o primeiro tratado onde a mecânica de Newton é apresentada de uma forma analítica, podendo esta obra ser considerada o primeiro tratado de Mecânica Racional. Em 1738 e 1740 Euler ganha os prémios da Academia de Paris e a sua reputação é tal que é convidado por Frederico II para dirigir a classe de matemáticas da futura Academia de Berlim. Após algumas hesitações, aceita, mudando-se para Berlim em Julho de 1741.

Numa carta que, em 1741, Daniel Bernoulli dirigira a Euler, desafia-o a resolver o «problema das forças centrais usando o métodos dos isoperímetros» (BRUNET, 1938: 49). Um problema que envolvia a determinação de uma curva cujo comprimento é uma constante e cujo integral, representando a sua superfície, tem propriedades de «extremo». Euler encontrou a solução, o que é provado pela reacção do seu amigo ao felicitá-lo numa carta de 23 de Abril de 1743. Esta solução é apresentada na sua obra publicada em Lausana no

ano de 1744 e intitulada «*Methodus inveniendi lineas curvas maximi minimive proprietati gaudentes, sive problemis isoperimetrici solutio generalis*»<sup>18</sup>. Desta obra constam dois apêndices: «*De Curvis Elasticis*», o tratamento da elasticidade de uma lâmina apoiada numa extremidade; «*De motu projectotum in medio non resistente, per Methodum maximorum ac minimorum determinando*»<sup>19</sup>, o movimento de um projectil num meio não resistente.

São suas as palavras seguintes:

«Puisque donc il s'ouvre une double voie pour connaître les effets de la nature: l'une par les causes efficientes, que l'on a coutume d'appeler méthode directe, l'autre par les causes finales, le mathématicien use de l'une et de l'autre avec un égal succès» (in BRUNET, 1938 : 81).

Continuando, um pouco mais à frente,

«Puisque la construction de l'ensemble du monde est la plus parfaite, et achevée par un créateur très sage, il n'arrive absolument rien dans le monde où n'éclate quelque raison de maximum ou de minimum; c'est pourquoi il n'y a absolument aucun doute que tous les effets du monde ne puissent être déterminés en partant des causes finales, à l'aide de la méthode des maxima et minima, avec autant de succès qu'en partant des causes efficientes elles-mêmes.» (in BRUNET, 1938 : 81).

O que mostra que no pensamento matemático de Euler se explicitam algumas razões de carácter metafísico, de significado finalista e com alguns pontos de contacto com a visão teleológica leibniziana, sem contudo se preocupar com a ideia, entretanto exposta por Maupertuis, da razão de ser dessa «metafísica», isto é, o «*poupar*» ou «*economizar meios*». Mas veja-se como Euler resolve o problema para um caso concreto, o caso referido no segundo apêndice (EULER, 1744: 311). Euler resolveu o problema de duas formas: a primeira, ou «método directo», corresponde a uma resolução recorrendo às forças da mecânica vectorial de Newton; a segunda ou «método indirecto», corresponde a estabelecer as equações do movimento através do cálculo de *máximo* ou *mínimo* de uma determinada fórmula. Se as soluções pelos dois métodos são idênticas então é possível concluir da correcção matemática do segundo método, método onde existe uma expressão que minimizada conduz à solução pretendida. O problema persiste no facto de procurar a fórmula geral que permita encontrar essa expressão de «extremo». E Euler vai tentar descobrir a «razão física» que presidirá a este princípio, isto é,

---

<sup>18</sup> Cujo título em português é «*Método para encontrar as linhas curvas que gozam das propriedades de máximo ou mínimo*». Esta obra existe na Biblioteca Nacional da Ajuda

<sup>19</sup> As citações feitas deste apêndice correspondem à sua tradução do latim para português que se ficou a deve à colaboração da Prof<sup>a</sup> Cláudia Teixeira.

«Uma vez que os corpos, devido à inércia, resistem a qualquer mudança de estado, obedecerão o menos possível às forças impulsoras, desde que estejam livres. Daqui resulta que no movimento gerado, o efeito resultante das forças deve ser menor do que se o corpo ou os corpos tivessem sido impelidos de qualquer outro modo. A validade deste raciocínio, apesar de ainda se não perceber suficientemente bem, uma vez que é consentâneo com a verdade, não há dúvida de que pode ser posta em maior evidência com a ajuda dos princípios de uma metafísica mais sã; questão esta que eu deixo aqueles que professam a metafísica.» (EULER, 1744: 320).

E se a «razão física» não é suficientemente clara, deverá talvez haver uma metafísica «mais sã» que possa por em evidência tal princípio que, neste caso, foi provado unicamente por asserções matemáticas para casos particulares, então os metafísicos que a procurem... Pode pensar-se que este apelo à metafísica feito por Euler tinha um outro objectivo ou pode ter uma outra leitura: nesta publicação Euler ilustra o seu método dos «isoperímetros» aplicando-o a vários problemas físicos; esta aplicação exige a determinação de uma condição de mínimo para uma função cuja solução é comprovada por Euler pelo método directo; contudo Euler tem consciência que a forma como encontra a função para cada um dos casos particulares não corresponde a um método geral. Esta sequência de cálculo motivou a sua expressão no último período da citação: embora não exista uma fórmula geral que resolva o problema, o facto da solução, para cada um dos casos concretos, coincidir com as resoluções obtidas pelo «método directo» é premonitório sobre a existência de um «método geral», isto é, os «*principes d'une métaphysique plus saine*».

Comparando com o que contemporaneamente fizera Maupertuis, talvez se imponha aqui uma conclusão: Euler também evidenciava algumas influencias de posições de natureza teleológico, contudo nas suas considerações finalistas não se deixou enredar no efeito de um princípio estrito de «poupança», ou em qualquer outra justificação de carácter metafísico, a ideia de mínimo possui uma característica unicamente matemática e está longe de interpretações metafísicas, contrariamente ao que fizera Maupertuis. Euler, através do seu programa de acção matemático, fará com que as ideias que presidem ao **Princípio da Menor Acção** comecem por se libertar dos seus contornos, ou justificações, essencialmente metafísicos e passem a ter uma formulação matemática precisa. É por este motivo que muitos autores dão, ou deram, a Euler a primazia matemática do enunciado deste princípio.

Euler estava em Berlim e era o director da classe de matemáticas da Academia desta cidade e neste ano de 1744 já sabia que Maupertuis iria ser o próximo presidente da Academia. Maupertuis que se fixou em Berlim no ano de 1745 também já conhecia a obra

Matemática de Euler. A partir daqui o percurso destas duas personagens cruzar-se-á, não só epistolarmente, como também na sua actividade Académica.

Como já se viu é, em 1746, que Maupertuis redige «*Les lois du mouvement et du repos déduites d'un principe métaphysique*» e que só em 1748 será objecto de edição. É natural que Euler tenha tomado conhecimento deste texto e que sobre ele tenha discutido com o autor. É o que se pode ler em várias cartas de Euler<sup>20</sup> que, em 1748, publicou a sua segunda memória sobre este tema<sup>21</sup> onde já é bem patente a influência do presidente da Academia, havendo a preocupação em reconhecer a Maupertuis a paternidade do princípio:

«Comme il y a longtemps que les philosophes soutiennent, avec bien de la raison, que la nature, dans toutes ses productions, affecte constamment un certain minimum, ce que M. de Maupertuis a mis tout à fait hors de doute...» (in BRUNET, 1938: 82).

Neste texto Euler emprega a linguagem filosófica das «causas finais», mas com objectivos claramente diferentes dos de Maupertuis, como começa a fazer uso do termo «acção», reconhecendo-lhe um estatuto particular na mecânica: a quantidade de acção não era uma entidade determinada *a priori*, mas uma grandeza representada por uma fórmula, cuja condição de máximo ou mínimo estava contida nas diferentes equações da solução dos diferentes problemas da mecânica quer se se tratasse de movimento ou de equilíbrio (PANZA, 1995: 483). O que leva Euler, a par do seu programa matemático de determinação de soluções, a não rejeitar um programa metafísico cujo objectivo final seria, por sua vez a construção de uma ciência matemática de compreensão geral da natureza, é o que se depreende do último parágrafo da citação seguinte,

«Mais puisque j'ai été conduit à la connaissance de ce minimum *a posteriori*, il s'agit maintenant de découvrir les raisonnements qui nous puissent conduire *a priori* à la même connaissance; ou bien il faut rechercher les principes desquels on pourrait conclure ce minimum, quand même on ne connaîtrait pas encore la courbe que le fil prend actuellement. Ces principes une fois découverts ne manqueront pas de répandre beaucoup de lumière sur les lois que la nature observe dans un nombre infini de ses autres productions, pour la détermination desquelles la mécanique même n'est pas encore portée à un degré suffisant de perfection; et il n'y a aucun doute que la métaphysique ne puisse tirer de cette découverte, quantité d'éclaircissements sur la manière d'agir des forces en général» (in BRUNET, 1938: 57).

<sup>20</sup> Esta correspondência pode ser consultada: —EULER, Leonardo, 1986, *Leonardi Euleri Opera omnia*/Ser. 4. Vol. 6. Correspondance de Leonard Euler avec P.-L.M. de Maupertuis et Frédéric II, Birkhauser Verlag Basel.

<sup>21</sup> Euler, 1748, «*Réflexions sur quelques lois générales de la nature qui s'observent dans les effets des forces quelconques*», *Mémoires de l'Académie de Berlin*, IV, pub. em 1750 (BRUNET, 1938: 111).

Há uma aproximação das ideias de Maupertuis. O problema tratado por Euler nesta memória dizia respeito a uma massa de um fluido onde todas as partículas sofrem a acção de forças centrais, em relação a tantos centros quantos os desejados e cujo valor é proporcional a funções da distância aos seus centros. Há um acordo entre a solução obtida pelos princípios vulgares da mecânica e a obtida pela regra de Maupertuis, concluindo Euler :

«ayant établi ce principe général que, dans tout état d'équilibre, la somme de toutes les actions des forces sur toutes les particules du corps qui est en équilibre est un minimum, je remarque de plus que ce même principe a lieu dans tous les mouvements libres des corps, de quelques forces qu'ils soient sollicités» (in BRUNET, 1938: 58).

Mais uma vez é-se levado a concluir que, embora Euler tenha sido marcado pela influência de Maupertuis, é a ele próprio que se deve o mérito de ter encontrado o método matemático subjacente ao **Princípio da Menor Acção**. As cartas dirigidas de Euler a Maupertuis são reveladoras desta preocupação, exemplifique-se com um extracto da missiva datada de 14 de junho de 1748:

«Dans l'article second, je soutiens que, lorsqu'un corps quelconque (soit qu'il soit solide ou fluide, flexible ou raide, ou élastique) sollicité par ces forces se trouve en équilibre, alors la somme de toutes les actions exprimées selon le premier article qui agissent sur tous les éléments du corps sera un minimum. Ce seul principe me fournit la figure d'une masse fluide quelconque, la courbe que forme un fil quelconque soit flexible ou élastique. Or ce principe est non seulement d'accord avec votre théorie, mais il est aussi le même que vous avancez.

Le troisième article roule sur le mouvement d'un corps attiré par ces mêmes forces, et je prouve que ce mouvement aura toujours cette propriété que la somme de toutes les quantités d'action que le corps éprouve à chaque instant sera un minimum. Je suis d'autant plus sûr que vous conviendrez aussi de ce principe, puisqu'il revient à celui d'où j'ai déduit les orbites des planètes et d'autres corps attirés par des forces quelconques dans mon traité de maximis et minimis.

En conformité de ces nouvelles lumières que je me suis acquises, je ferai quelques changements dans les expressions de ma pièce précédente sur cette matière, qui peuvent paraître de renfermer quelque chose de contraire à votre théorie et à mes dernières recherches» (in BRUNET, 1938: 77).

Os textos seguintes em que Euler se voltará a pronunciar sobre o **Princípio da Menor Acção**<sup>22</sup> já serão produzidos num outro contexto, contexto que se abordará em seguida. Talvez se possa, por agora, deixar uma conclusão: Euler procurou libertar o **Princípio da Menor Acção** da sua forma metafísica, uma forma essencialmente concebida

---

<sup>22</sup> Euler, 1751, «*Harmonie entre les principes généraux de repos et de mouvement de M. de Maupertuis*», Mémoires de l'Académie de Berlin VII, pub. em 1753 ; Euler, 1751, ... (PANZA, 1995: 514) .



por Maupertuis, e construiu os alicerces de uma formulação matemática precisa e rigorosa, sobre os quais outros puderam erigir um sólido edifício físico-matemático.

Embora em alguns dos seus textos seja visível a influência explícita de uma certa teleologia, como foi mostrado, é bom sublinhar a posição clara de um acentuado anti-leibnizianismo filosófico, a par de um pró-newtonianismo, sempre defendidos por Euler, o que está patente na sua obra de vulgarização *Lettres à une Princesse d'Allemagne*<sup>23</sup>. A publicação destas cartas fez-se em S. Petersburgo no ano de 1768, e na carta número LXXVIII, Euler procura dar uma imagem do sentido físico da «acção» e do princípio enunciado por Maupertuis:

«Donc, puisque la force est la plus petite, l'effet quelle produit, c'est-à-dire le changement d'état qui en est opéré, sera aussi le plus petit possible pour empêcher la pénétration ; et conséquemment, quand deux ou plusieurs corps concourent ensemble, de sorte que chacun ne saurait demeurer dans son état sans pénétrer les autres, il y arrive une action mutuelle, et cette action est toujours la plus petite qui soit encore capable d'empêcher la pénétration. C'est donc ici que V.A.. trouvera, contre toute attente, le fondement du système de seu M. de Maupertuis, tant vanté et tant contesté. Son principe est celui de la moindre action, par lequel il prétend que dans tous les changements qui arrivent dans la nature, l'action qui les opère est toujours la plus petite qui soit possible. De la manière que j'ai l'honneur de présenter ce principe à V.A., il est évident qu'il est parfaitement fondé dans la nature même des corps, et que ceux qui le nient ont grand tort, mais pas tant encore que ceux qui s'en moquent. V.A. aura peut être déjà remarqué que certaines personnes, qui ne sont pas trop amies de M. de Maupertuis, saisissent toutes les occasions pour se moquer du principe de la moindre action, de même que du trou jusqu'au centre de la terre ; mais heureusement la vérité n'y souffre rien. Le 22 Novembre 1760.» (EULER, 1812: 343).

Duas notas: a referência que é feita aos que gozam (*moquer*) é uma alusão a Voltaire e diz respeito à sua intervenção num episódio que será tratado em seguida; a relação respeitante à impenetrabilidade entre os corpos, associada à definição do conceito de força — evitando uma definição dinâmica deste conceito —, e a acção mínima ou a ligação entre o **Princípio da Menor Acção** e o newtonianismo.

## 6. A Academia de Berlim, palco de uma curiosa disputa em torno do Princípio da Menor Acção

Berlim no ano de 1751, ano em que a Academia desta cidade vai ser o palco de uma curiosa disputa que, para ser fielmente descrita em todo o seu ambiente, é-se obrigado a recuar cerca de uma dezena de anos...

<sup>23</sup> Conjunto de 234 cartas, escritas entre 1760 e 1762, dirigidas à sobrinha do rei da Prússia, Friederike Charlotte Ludovica Luise, futura princesa de Anhalt-Dessau, de 15 a 17 anos de idade, a pedido de seu pai.

No princípio de 1739, ao passar umas semanas em Basileia junto dos Bernoulli, Maupertuis travou conhecimento com um jovem matemático vindo de Estrasburgo, Samuel Koenig, que o acompanhou de regresso a França até ao Castelo de Cirey onde se encontravam Emile Le Tonnelier de Breteuil (1706-1749), marquesa de Chatelet, e Voltaire. Koenig foi, pela sua presença na residência de Chatelet-Voltaire, o responsável pela iniciação da marquesa na filosofia Leibniziana que, tal como escreveu Voltaire, numa carta, a Maupertuis:

«Vous êtes coupable, vous qui lui avez fourni cet entousiasme de Koenig, chez qui elle puisa ces hérésies, qu'elle rend si séduisantes»

Em 1743, Maupertuis foi eleito para a Academia Francesa — Voltaire sê-lo-á em 1746<sup>24</sup> — e, em 1745, instalou-se em Berlim, onde tomou posse, um ano depois, da presidência da recém criada Academia da Prússia<sup>25</sup>. A sua integração na sociedade prussiana foi tão bem sucedida que, já em 1744, casara com uma jovem que pertencia à família do Ministro de Estado von Bork. Frederico II, como já se assinalou, estava empenhado numa Academia com prestígio e já chamara para a dirigir alguns importantes talentos matemáticos como era o caso de Leonardo Euler que vai ter um papel importante nesta disputa quer pelo peso da sua autoridade científica quer pelo apoio inequívoco que prestará ao seu Presidente..

Em 1744, tendo sido obrigado a sair da Suíça por razões políticas, Koenig foi nomeado professor de filosofia e matemática na universidade de Franeker na Holanda, sendo posteriormente transferido, em 1749, para Haia como conselheiro privado e bibliotecário do Príncipe Guilherme IV de Orange. Também no ano de 1749, Maupertuis propôs Koenig para membro da Academia de Berlim que o acolhe como membro estrangeiro.

Depois da morte da Marquesa do Châtelet, a 10 de Setembro de 1749, Voltaire é convidado por Frederico II para residir junto da sua corte, sendo alojado em Potsdam, no castelo de *Sans Souci*, e atribuiu-lhe uma pensão de 20000 francos. Voltaire e Maupertuis estão ambos na corte de Frederico II e ambos são figuras proeminentes do seu séquito

---

<sup>24</sup> No seu discurso de tomada de posse terá omitido qualquer referência a Maupertuis, na altura já à frente da Academia de Berlim, o que terá deixado magoado o seu antigo companheiro (BEAUMELLE, 1856: 134).

<sup>25</sup> Esta Academia estava dividida em quatro classes: física ou filosofia experimental; matemáticas; filosofia especulativa; filologia. Cada classe era formada por académicos ordinários, académicos honorários e académicos estrangeiros, estes últimos em número ilimitado.

intelectual; este convívio começou a provocar atritos, a generosa pensão atribuída a Voltaire não passou despercebida ao Presidente da academia que jocosamente comenta<sup>26</sup>:

«c'est un bon marché pour un si grand poète et un si bel Esprit, et pour un Roi qui fait tant de cas de ces talents, et qui les possède tant lui-même.»

Koenig passou por Berlim na primavera de 1750, parece que discutiu com Maupertuis e talvez lhe tenha mostrado o esboço de um artigo que viria a publicar e que veio a desencadear a futura polémica. Koenig, em nome de uma amizade antiga, ter-se-á, muito provavelmente, encontrado com Voltaire que ultimava o *Micromégas* e onde já se adivinhavam algumas pequenas caricaturas feitas à medida do presidente da Academia de Berlim.

«Notre voyageur connaissait merveilleusement les lois de la gravitation, et toutes les forces attractives et repulsives. Il s'en servait si à propos que, tantôt à l'aide d'un rayon de soleil, tantôt par la commodité d'un comète, il allait de globe en globe, lui et les siens, comme un oiseau voltige de branche en branche...» (VOLTAIRE, 1961: 109).

O que parece ser uma alusão jocosa ao percurso científico de Maupertuis que, de especialista na teoria newtoniana da gravitação, escreveu sobre óptica, formulando pela primeira vez o seu **Princípio da Menor Acção**, para mais tarde se debruçar novamente sobre a mecânica. Esta ideia de voltejar de ramo em ramo, pode ser uma alusão metafórica à sua passagem por diversos «ramos» do saber, desde escritos sobre a Biologia (o negro albino) à Cosmologia (publicou em Berlim, no ano de 1750, o «*Essai de Cosmologie*»). A própria forma do globo terrestre deixou de ser um motivo de enaltecimento para quem a descobriu, para passar a ser um motivo de chacota:

«...ce globe-ci est si mal construit, cela est si irrégulier et d'une forme qui me paraît si ridicule !... Remarquez-vous encore la forme de tout le globe ? comme il est plat aux pôles, comme il tourne autour du soleil d'une manière gauche, de façon que les climats des pôles sont nécessairement incultes ? En vérité, ce qui fait que je pense qu'il n'y a ici personne, c'est qu'il me paraît que des gens de bon sens ne voudraient pas y demeurer.» (VOLTAIRE, 1961: 116).

E a expedição à Lapónia, cujo êxito catapultou Maupertuis para a ribalta da fama, também não escapou à sátira voltairiana:

«...à l'aide du microscope ils aperçurent quelque chose de plus gros qu'une baleine qui flottaient sur la mer Baltique. On sait que dans ce temps-là même une volée de philosophes revenait du cercle polaire, sous lequel ils avaient été faire des observations dont personne ne s'était avisé jusqu'alors.» (VOLTAIRE, 1961: 117).

---

<sup>26</sup> Parece que Voltaire receberia uma pensão maior do que a de Maupertuis (BEAUMELLE, 1856: 135).

O artigo, publicado nas *Acta eruditorum* de março de 1751, intitulado «*De universali principio æquilibrii et motus, in vi viva reperto, deque nexu inter vim vivam et actionem, utriusque minimis*» e assinado por Koenig, faz estalar o escândalo. Segundo alguns autores, Maupertuis teria recebido o texto de Koenig e, sem o ler, tê-lo-ia enviado para publicação. Koenig não punha em causa o **Princípio da Menor Acção**, mas atacava a prioridade de Maupertuis no seu enunciado, no essencial acusou-o de plagiador: segundo o matemático suíço, o princípio já aparecera enunciado numa carta, datada de 16 outubro de 1707, de Leibniz para Hermann (1678-1733), um matemático de Basileia, discípulo de Jacob Bernoulli e cujas aulas foram frequentadas por Koenig. Esta carta pertencia aos papéis de um tal Henzi que fora decapitado em Berna em 1749 por conspiração política. Até hoje ainda não apareceu nem a cópia, nem o original, contudo, pelo conteúdo de outras cartas de Leibniz escritas para os Bernoulli, continua a pensar-se que ela, provavelmente, tenha existido...

O Presidente da Academia que até aí levava uma vida sem grandes sobressaltos, salvo as consequências do seu carácter hipocondríaco, pautada pelos seus hábitos de estudo regrado, acompanhada pelos favores do rei e dos académicos, sofreu um abalo profundo com as declarações de Koenig. Para Maupertuis o ano de 1751 representou o início de uma tragédia.

Maupertuis e Euler devem ter ficado atónitos com o que leram no último parágrafo da memória de Koenig, a referência a uma carta de Leibniz onde este definiria a acção

«L'action n'est point ce que vous pensez. La considération du temps y entre ; elle est comme le produit de la masse par le temps, ou du temps par la force vive.» (in BEAUMELLE, 1856: 143).

Espantado, furioso, ferido na sua vaidade de Presidente e traído na sua qualidade de protector, Maupertuis instou Koenig a fornecer-lhe elementos concretos sobre essa carta de Leibniz, já que sobre ela jamais ouvira falar, ao que aquele respondeu que também jamais vira o documento original e que teria tido acesso somente a uma cópia que lhe fora dada por Henzi, entretanto desaparecido... De imediato o Presidente da Academia de Ciências de Berlim recorre aos seus conhecimentos em Basileia, movendo influências através do seu amigo João (II) Bernoulli para que procurasse encontrar, junto da família Hermann, as cartas de Leibniz. Durante um ano após o artigo de Koenig, muitas pessoas se afadigaram na procura do original da tal carta de Leibniz que já foi mencionada: Maupertuis e Euler procuraram provar que ela não existia, enquanto que o matemático suíço pretendia

provar a veracidade das suas afirmações, tendo feito chegar a Maupertuis uma cópia do que Leibniz supostamente escrevera... Encontrar a dita carta transformou-se para Maupertuis numa tarefa de tal ponto obsessiva que recorre ao embaixador Francês em Berna, Marquis de Paulmy, para que este pedisse ao governo suíço que vasculhasse todos os papéis de Henzy, o que foi feito, mas nada foi encontrado. Supõe-se que, entretanto, muitas cartas de Leibniz chegaram às mãos de Maupertuis para serem examinadas.

A sessão da Academia de 13 de Abril de 1752 pronunciou-se contra Koenig e a favor do seu presidente, acusando aquele de ter produzido afirmações falsas. O Presidente estava ausente da sessão, mas Euler encarregar-se-ia da acusação através da comunicação intitulada «*Exposé concernant l'examen de la lettre de M. de Leibniz, allégué par M. le Professeur Koenig, dans le mois de mars 1751 des Actes de Leipzig, à l'occasion du principe de la moindre action*».

Parece não haver nada de definitivo que autorize a prova da existência da dita carta (BRUNET, 1938:10), contudo a memória de Leibniz publicada nas *Acta Eruditorum* em 1695, cujo extracto já foi transcrito<sup>27</sup>, é susceptível de justificar a passagem a que se referia Koenig. A alternativa entre *máximo* e *mínimo* estabelecida por Leibniz não corresponde à expressão do princípio geral enunciado por Maupertuis, o que levou Euler, perante a Academia, a declarar

«Nous concluons, dit-il, avec assurance, que le principe de la moindre action, non seulement a été entièrement inconnu à Leibniz, mais encore qu'il a employé un principe fort différent, qui ne s'accordait avec celui-là que dans un très petit nombre de cas très singuliers, pendant que, dans une infinité d'autres, il lui était manifestement contraire» (in BRUNET, 1938:12)

Insistindo especialmente nesta modificação contida na expressão «*la nature épargne*», descoberta pelo Presidente da Academia das Ciências de Berlim. Alguns autores sublinham o facto de as palavras de Euler preencherem dez páginas e em que, unicamente uma, é consagrada a argumentos científicos (GRAVE, 1998b), a Academia de Berlim decidiu que a citação apresentada por Koenig era falsa: esta foi a sentença! O resultado deste juízo não deixa dúvidas sobre a autoridade com que Maupertuis reinava sobre a Academia.

Perante a acusação de falsário lançada pela Academia, Koenig apela para que seja revisto o juízo que dele fizera a sábia agremiação, mas esta confirma a sua posição anterior na sessão de 8 de Junho e, sem opções, o visado é obrigado a demitir-se da sua qualidade de membro. Parece que alguns Académicos, bem como outras personagens do círculo intelectual frequentado por Maupertuis, lhe fizeram saber que não estariam de acordo com

---

<sup>27</sup> Na página 8.

estes modos demasiado autoritários, e pessoais, de resolver esta contenda, facto que só serviu para atizar ainda mais a sua ira, ao ponto de se dirigir à Princesa de Orange pedindo-lhe que demitisse Koenig do seu lugar de bibliotecário.

Em 18 Junho de 1752, Koenig, respondendo à acusação da Academia, devolveu a esta instituição o seu diploma de Académico. Voltaire, que se sentia revoltado com o comportamento de Maupertuis, escreve numa carta:

(...) on n'avait point encore vu de procès criminel dans une académie des sciences. C'est une vérité démontrée qu'il faut s'enfuir de ce pays-ci» (in GRAVE, 1998b)

Em setembro de 1752, Koenig publicou em Leiden, na Holanda, *L'Appel au Public* onde se manifestou contra as posições da Academia, contando a história da disputa e acrescentando textos onde mostrava que o *Princípio da Menor Acção* já se encontrava no pensamento de Malebranche, Gravesande, Wolff. As posições de Koenig granjeiam-lhe simpatias no meio intelectual e é então que Voltaire intervém a seu favor, contra Maupertuis, num panfleto anónimo intitulado *Réponse d'un académicien de Berlin à un Académicien de Paris*, onde se pode ler:

«A Berlin, le 18 septembre 1752. Voici l'exacte verité qu'on demande. M. Moreau de Maupertuis, dans une brochure intitulée Essai de Cosmologie, prétendit que la seule preuve de l'existence de Dieu est  $AR + nRB$ , qui doit être un minimum voyez page 52 de son recueil in-4°. Il affirme que, dans tous les cas possibles, l'action est toujours un minimum, ce qui est démontré faux; et il dit avoir découvert cette loi du minimum, ce qui n'est pas moins faux (...) Plusieurs membres de l'academie de Berlin ont protesté contre une conduite si criante, et quitteraient l'academie que le sieur Maupertuis tyrannise et déshonore, s'ils ne craignaient de déplaire au roi qui en est le protecteur.»

Há que destacar duas ideias chave nesta prosa voltairiana: tirania, prova matemática da existência de Deus...

Em Novembro de 1752, sai à liça Frederico II para defender publicamente o Presidente da sua Academia num escrito intitulado *Lettre d'un académicien de Berlin à un Académicien de Paris*, o que suscitou de Voltaire, escrito no mesmo mês, a *Primeira Diatribe du Docteur Akakia*, constituída pelas peças seguintes: *Décret de l'inquisition de Rome*, *Jugement des professeurs du College de la Sapience et Examen des Lettres*. A esta primeira diatribe, segue-se uma segunda, *la Séance mémorable*, onde se critica o julgamento académico de Koenig. Sempre protegendo o presidente da sua Academia, Frederico II, mandou, em 24 de Dezembro, que se queimasse em praça publica os exemplares da *Diatribe*, auto de fé a que Voltaire assiste das janelas da sua casa. Revoltado contra este procedimento, no dia primeiro de Janeiro de 1753, Voltaire mandou entregar no palácio real as condecorações que lhe tinham sido

atribuídas por Frederico II, acompanhadas de uma carta, onde também recusava a pensão que lhe era atribuída pelo monarca:

«Sire, pressé par les larmes et les sollicitations de ma famille, je me vois obligé de mettre à vos pieds mon sort, et les bienfaits, et les distinctions dont vous m'avez honoré. Ma résignation est égale à ma douleur.»<sup>28</sup>

Entre Janeiro e Março de 1753 as relações entre Voltaire e o Rei estão tensas e há importantes tentativas de desanuviamento, contudo, sem se deter nos pormenores, rapidamente se chega ao fim desta polémica: Voltaire é preso em Frankfort a 25 de Maio por ordem de Frederico II, sendo libertado nos finais de Julho.

A polémica já estava encerrada...

Numa carta que La Condamine (1701-1774), académico francês, participante na expedição ao Peru enquanto Maupertuis estivera na Lapónia e seu amigo, escreveu a Daniel Bernoulli, dava a opinião sobre o que acontecera:

«J'ai lu toutes les pieces du procès de Mr. de Maupertuis et de Mr. Koenig. Le fonds de la dispute n'est pas encores entamé. S'il m'est permis de dire mon avis je pense quant au fond de la querelle que les conséquences metaphysiques sont hazardées. Pour le géométrique je crois que cette découverte a moins couté à son auteur que la resolution d'autres problèmes dont il a fait moins de bruit, mais je ne suis pas étonné qu'il y soit attaché et je crois qu'un autre le serait à sa place, peut-être autant, mais l'aurait moins affiché.»

A polémica que, como se assistiu, é paupérrima em argumentação científica, pois parece que não era isso que estava em causa, tal como o reconheceram D'Alembert e La Condamine, teve, como único efeito de graves consequências o aniquilamento pessoal do Presidente da Academia das Ciências de Berlim que, completamente desfeito por tudo o que acontecera, abandona Berlim e morre, no ano de 1759, em Basileia na casa de João (II) Bernoulli.

Continua talvez por esclarecer a intervenção de um homem como Voltaire, acérrimo crítico de Leibniz, ao lado do leibniziano Koenig. O filósofo francês fora amigo de Koenig e Maupertuis, mas a companhia deste último em Berlim, disputando os favores de Frederico II, deverá ter esbatido os laços afectivos entre ambos. A prepotência da Academia, a arrogância dos seus métodos e do seu Presidente possuído por uma intolerância cega, fez o resto, obrigou Voltaire a aliar-se ao perseguido Koenig. Isto é, tomando o partido de um Leibniziano confesso, Voltaire desferiu a sua diatribe contra o

---

<sup>28</sup> Há quem diga que além da carta terá seguido a quadra seguinte: «Je les refus avec tendresse, / Je vous les rends avec douleur; / c' est ainsi qu'un amant, dans son extrême ardeur, / rend le portrait de sa maitresse.»

intolerante homem de poder; contra a tirania, caricaturou fortemente a prova matemática da existência de deus ou o problema das causas finais, o que voltará a fazer no *Candide* publicado no ano da morte de Maupertuis :

«Candide fut seulement très fâché de se séparer de son mouton, qu'il laissa à l'Académie des sciences de Bordeaux, laquelle proposa pour le sujet du prix de cette année de trouver pourquoi la laine de ce mouton était rouge; et le prix fut adjugé à un savant du Nord, qui démontra par  $A + B$ , moins  $C$ , divisé par  $Z$ , que le mouton devait être rouge et mourir de la clavelée» (VOLTAIRE, 1961 : 206).

Para Voltaire não estava em causa a matemática, o que estava em causa era a tirania e essa ideia peregrina de encontrar uma prova «matemática para a existência de Deus» ou o princípio metafísico que explicaria a intervenção de um «Ser superior» na natureza.

Euler, por quem os amigos tinham muito respeito sobre o seu trabalho matemático, mas sobre o qual duvidavam no que diz respeito à sua capacidade de discernimento filosófica, dará por terminada, com o abandono de Maupertuis de Berlim, a sua intervenção nesta questão. Manter-se-á em Berlim enquanto presidente interino da Academia, por indicação de Frederico II, já que a escolha deste se inclinava para D'Alembert que nunca se propôs abandonar Paris. Euler continuou na presidência interina da Academia até 1766, ano em que regressou a S. Petersburgo.

## 7. O balanço da disputa e algum debate havido em torno do Princípio da Menor Acção

É possível fazer um breve balanço deste conflito, em torno do **Princípio da Menor Acção**, cujos aspectos científico-filosóficos estão mais subentendidos do que explícitos. Talvez tudo tenha começado com Leibniz, enquanto origem de dois grupos associados a esta questão. O primeiro grupo, aquele que está associado ao estabelecimento de uma relação entre o princípio em causa e a pesquisa Matemática dos problemas de máximo e mínimo. Maupertuis, esteve um pouco à margem deste grupo, embora não seja de afastar alguma influência sobre ele exercida por intermédio de João (I) Bernoulli, influência que virá a ser decisiva nos trabalhos de Euler. O segundo grupo, aquele que está mais ligado às considerações lógico-metafísicas, marcado pelas concepções teleológicas e finalistas defendidas pelo filósofo alemão. Esta marca estava impressa no pensamento de Maupertuis, embora este se tenha pretendido subtrair à influência leibniziana ao pretender encontrar uma expressão matemática que constituísse a regra geral de funcionamento da



natureza e que fosse a marca indiscutível da providência; este objectivo está claramente desenhado na obra «*Essai de cosmologie*». É esta pretensão de originalidade face à teleologia de Leibniz que mais o terá movido no confronto com Koenig.

Os actores principais em torno da disputa já são conhecidos e já se assistiu aos seus papéis, contudo em torno da polémica sobre o **Princípio da Menor Acção** outras vozes se fizeram ouvir como é o caso de D'Alembert que sobre o **Princípio da Menor Acção** uma posição bastante matizada. Se, por um lado, sublinha os aspectos bastante fecundos do seu entendimento matemático, por outro, procura apagar totalmente o alcance metafísico que lhe era atribuído pelo seu fundador. No artigo, *Action*, da *Encyclopedie* escreveu

«Quelque parti qu'on prenne sur la métaphysique qui lui sert de base ainsi que sur la notion que M. Maupertuis a donnée de la quantité d'action, il n'en sera pas moins vrai que le produit de l'espace par la vitesse est un minimum dans les lois les plus générales de la nature. Cette vérité géométrique subsistera toujours.»

Coloque-se-lhe a metafísica que se queira nesse princípio, o facto é que, sob o ponto de vista matemático, ele é demonstrável, a sua natureza é necessária e isto mesmo foi, em larga medida provado por Euler. Está é a posição de Euler, embora, como já se viu, este a faça acompanhar, a partir de uma certa altura — quando Maupertuis é presidente da Academia e ele é responsável pela classe de matemáticas —, de algumas pinceladas metafísicas. Os artigos da *Encyclopédie* são escritos depois da disputa entre Maupertuis e Koenig, mas em cartas que dirige a Maupertuis, D'Alembert coloca-se inequivocamente ao seu lado.

Reconhecendo o trabalho de Maupertuis e sobretudo o objectivo alcançado por Euler, as ideias que presidem ao **Princípio da Menor Acção** passaram a ter uma formulação matemática precisa, D'Alembert escreve:

«Donc les lois de l'équilibre et du mouvement, telles que l'observation nous les fait connaître, sont de vérité nécessaire. Un métaphysicien se contenterait peut-être de le prouver, en disant qu'il était de la sagesse du Créateur et de la simplicité de ses vues, de ne point établir d'autres lois de l'équilibre et du mouvement, que celles qui résultent de l'existence même des corps, et de leur impénétrabilité mutuelle ; mais nous avons cru devoir nous abstenir de cette manière de raisonner, parce qu'il nous a paru qu'elle porterait sur un principe trop vague, la nature de l'être suprême nous est trop cachée pour que nous puissions connaître directement ce qui est ou n'est pas conforme aux vues de la sagesse; nous pouvons seulement entrevoir les effets de cette sagesse dans l'observation des lois de la nature, lorsque le raisonnement mathématique nous aura fait voir la

simplicité de ces lois, et que l'expérience nous en aura montré les applications et l'étendue.» (D'ALEMBERT, 1990 : XXIX)

A afirmação — «la nature de l'être suprême nous est trop cachée pour que nous puissions connaître directement ce qui est ou n'est pas conforme aux vues de la sagesse» — é uma alusão à argumentação de Maupertuis. Também se pode acrescentar que, em alguns pontos, os pressupostos teóricos de Maupertuis, a crítica ao conceito de força e ao princípio conservacionista cartesiano-leibniziano, o empurraram para o mesmo lado da barricada das ideias. O projecto de D'Alembert de unificação da mecânica sob a capa de um grande princípio que no *Traité de Dynamique* se designa por

«Principe général pour trouver le Mouvement de plusieurs corps qui agissent les uns sur les autres d'une manière quelconque» (D'ALEMBERT, 1990 : 72),

é uma ambição comum a estes dois homens. A diferença está, entre D'Alembert, na negação de quaisquer causas finais ou sentido teleológico deste princípio, e Maupertuis, na insistente justificação metafísica deste princípio.

É com Joseph-Louis Lagrange (1739-1813) que tudo se aclarará. E a nossa história queda-se por aqui: conclusões, mesmo provisórias, ficam para outro texto...

## 8. Uma cronologia auxiliar

Ano	
1636	• <b>Fermat</b> , <i>Método para determinar os máximos e mínimos e as tangentes a linhas curvas</i>
1637	• <b>Descartes</b> , Discours de la méthode, <i>La Dioptrique</i> , Les Meteores, La Géometrie
1638	• <b>Descartes</b> , <b>Mersenne</b> , <b>Fermat</b> — troca de correspondência
1657-62	• <b>Fermat e os Cartesianos</b> (De La Chambre, Clerselier) — troca de correspondência
1673	• <b>Huyghens</b> , <i>Horologium Oscillatorium</i> , conservação de uma outra quantidade $mv^2$ ,
1682	• <b>Leibniz</b> : <i>Unicum opticae et dioptricae, Acta Eruditorum</i> , Rejeitando o Princípio de Fermat, afirmava que a luz seguia o caminho mais fácil que não era nem o mais curto nem o de menor tempo, mas o que oferecia menor resistência...
1684	• <b>Leibniz</b> : <i>Nova methodus pro maximis et minimis, itemque tangentibus, quae nec fractas, nec irrationales quantitates moratur, et singulare pro illis calculi genus</i> ; propõe para ser resolvido a determinação do ângulo de refração
1687	• <b>Leibniz</b> propõe o problema da isócrona, «uma curva descrita por uma partícula sob a acção do peso uniforme e cuja velocidade na vertical fosse constante» • <b>Newton</b> , <i>Philosophiae Naturalis Principia Mathematica</i>
1691	• <b>Jacob Bernoulli</b> resolve o problema anterior (parábola semicúbica) e propões o problema da catenária; • <b>João (I) Bernoulli</b> , Leibniz e Huyghens resolvem o problema da catenária chegando à equação diferencial $\frac{dy}{dx} = \frac{s}{c}$
1696	• <b>João (I) Bernoulli</b> :Desafio aos matemáticos sobre a resolução do problema da braquistócrona, <i>Acta Eruditorum</i> (junho)
1697	• <b>Jacob Bernoulli</b> levanta o problema mais geral dos isoperímetros
1704	• <b>Newton</b> , <i>Opticks</i>
1715	• <b>Leibniz</b> — <b>Newton</b> (Clarke) controvérsia
1723	• <b>Mairan</b> , <i>Mémoire de l'Académie royale des sciences de Paris</i> (Memória na qual Maupertuis se baseou (em 1744) para admitir que o princípio defendido por Leibniz era o mesmo que Fermat)

## História e Filosofia da Ciência (colectânea de textos)

Ano	
1727	➤ <b>Maupertuis</b> , comunicação à Academia das Ciências debruçando-se sobre problemas de máximos e mínimos
1728	➤ <b>Maupertuis</b> : estadia de seis meses em Londres; é possível que <b>Voltaire</b> e <b>Maupertuis</b> , ambos em Londres em 1728, se tenham encontrado...
1729	➤ <b>Maupertuis</b> parte para Basileia para estudar matemáticas com <b>João Bernoulli</b> , pai de <b>João(II)</b> e <b>Daniel Bernoulli</b> e professor de <b>Leonardo Euler</b> — as três amizades que apoiarão <b>Maupertuis</b> nos momentos de crise
1731	➤ (24 de julho) A Academia Real das Ciências nomeia <b>Maupertuis</b> geómetra pensionista
1732	➤ <b>Maupertuis</b> , <i>Discours sur les différentes figures des astres</i> , na Academia de Paris
1734	➤ Em Basileia, <b>Maupertuis</b> e <b>Clairaut</b> têm contactos importantes com os Bernoulli
1735	➤ Uma missão composta por <b>Bouguer</b> , <b>La Condamine</b> e <b>Godin</b> desloca-se ao Peru para medir o comprimento do meridiano terrestre; <b>Maupertuis</b> propõe que seja organizada uma expedição ao Norte da Europa, junto ao Pólo
1737	❖ <b>Euler</b> , <i>Mechanica, sive motus scientia analytice exposita</i>
1738	➤ ( <b>Voltaire</b> : propõe a <b>Frédéric II</b> de Prússia <b>Maupertuis</b> para dirigir a Academia em Berlim)
1739	➤ <b>Maupertuis</b> trava conhecimento com <b>Koenig</b> em Basileia na casa dos Bernoulli; ao regressar a França, <b>Maupertuis</b> faz-se acompanhar de um dos filhos <b>Bernoulli</b> e de <b>Samuel Koenig</b>
1740	➤ <b>Maupertuis</b> , <i>Loi du repos des corps</i> , Mémoire de l'ARS de Paris
1743	➤ (6 de junho) <b>Maupertuis</b> é eleito membro da Academia Francesa • <b>D'Alembert</b> : <i>Traité de dynamique</i> (1ª ed.)
1744	➤ <b>Maupertuis</b> , <i>L'accord de différentes lois de la nature qui avaient jusqu'ici paru incompatibles</i> Mémoire de l'ARS de Paris ❖ <b>Euler</b> publica <i>Methodus inveniendi lineas curvas maximi minimive proprietati gaudentes, sive problematis isoperimetrici solutio generalis</i> (Lausane)
1748	➤ <b>Maupertuis</b> , <i>Les lois du mouvement et du repos déduites d'un principe métaphysique</i> , Memória da AC de Berlim (março) ❖ <b>Euler</b> , « <i>Réflexions sur quelques lois générales de la nature qui s'observent dans les effets des forces quelconques</i> », Mémoires de l'Académie de Berlin (1750)
1749	➤ Sob proposta de <b>Maupertuis</b> , <b>Samuel Koenig</b> é nomeado membro estrangeiro da Academia de Berlim
1750	➤ <b>Maupertuis</b> , <i>L'essai de Cosmologie</i> ➤ <b>Maupertuis</b> recebe, depois de setembro a visita de <b>Samuel Koenig</b>
1751	• <b>Koenig</b> publica <i>De Universalii principio Aequilibræ et motus...</i> , nas Acta Eruditorum (Leipzig); <b>Koenig</b> põe em dúvida a originalidade de <b>Maupertuis</b> , citando parte de uma carta de <b>Leibniz</b> ...
1752	➤ <b>Maupertuis</b> recebe uma mensagem de apoio de <b>D'Alembert</b> • (13 de abril) Reune-se a Academia em sessão extraordinária para ouvir um relatório de <b>Euler</b> : <i>Exposé concernant l'examen de la lettre de M. de Leibniz, allégué par M. le Professeur Koenig, dans le mois de mars 1751 des Actes de Leipzig, à l'occasion du principe de la moindre action</i> . A Academia acusa <b>Koenig</b> de falsificação da citação de um documento não existente. • <b>Koenig</b> apresenta a sua demissão da Academia e devolve o diploma; • (setembro) <b>Koenig</b> publica em Leiden dois panfletos <i>Appel au Public</i> e <i>Défense de l'Appel</i> contra <b>Maupertuis</b> , <b>Euler</b> e a Academia de Berlim; • (18 de setembro) <b>Voltaire</b> defende <b>Koenig</b> : <i>Réponse d'un académicien de Berlin à un Académicien de Paris</i> • (novembro) <b>Frederico II</b> defende publicamente <b>Maupertuis</b> e a sua Academia: <i>Lettre d'un académicien de Berlin</i> • <b>Voltaire</b> escreve um panfleto incendiário, <i>La Diatribe du Docteur Akakia</i> , de que dá conhecimento do seu conteúdo a <b>Frédéric II</b> , pedindo-lhe este para não o publicar • (novembro) <b>Voltaire</b> redige a Diatribe: <i>Décret de l'inquisition de Rome; jugement des professeurs du Collège de la Sapienza</i> • <b>Euler</b> apresenta várias comunicações à Academia contra <b>Koenig</b> e defendendo a prioridade de <b>Maupertuis</b> no enunciado do PAM • (dezembro) <b>Voltaire</b> publica <i>La Diatribe du Docteur Akakia</i> ; <b>Frederico II</b> confisca toda a edição, manda-a queimar • (dezembro) <b>Bouguer</b> toma abertamente o partido de <b>Koenig</b> num artigo publicado no <i>Journal des savants</i>
1753	• (Janeiro) <b>Voltaire</b> devolve a <b>Frederico II</b> a Cruz de Mérito. • <b>Voltaire</b> publica uma série de panfletos ridicularizando <b>Maupertuis</b> : <i>Lettre du Docteur Akakia au natif de saint-Malo</i> , <i>L'art de bien argumenter en philosophie réduit en pratique par un vieux capitaine de cavalerie</i> , <i>La séance mémorable</i> , <i>Le traité de paix entre M. le Président de Maupertuis et M. le Professeur Koenig</i> , <i>La lettre au secrétaire éternel</i> , <i>La lettre d'un marquis à une marquise...</i>

Ano	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Euler faz publicar, em Leiden, a <i>Dissertation sur le principe de la moindre action, avec l'examen des objections du professeur Koenig faites contre ce principe</i>.</li> </ul> <p>(Junho) Voltaire é preso, por ordem de Frederico II, em Francforte; é libertado pouco tempo depois e regressa França</p>
1754	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lagrange envia cartas a Euler</li> </ul>
1755	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lagrange envia cartas a Euler</li> </ul>
1756	(4 de novembro) Maupertuis recebe de Lagrange uma carta de reconhecimento sobre a descoberta do seu Princípio
1759	<p>➤ Maupertuis morre em Basileia na casa de João (II) Bernoulli e assistido pela família deste</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lagrange, <i>Recherches sur la méthode de maximis et minimis</i> (Miscellanea Taurinensia, I, 1759)</li> </ul>
1760	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Euler, <i>Lettres à une Princesse d'Allemagne</i></li> </ul>
1788	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lagrange, <i>Mécanique analytique</i>, Paris</li> </ul>

## 9. Referências bibliográficas

ALEXANDER, H.G. (ed.), 1976, *The Leibniz-Clarke correspondence*, N.Y., Manchester University Press.

BEAUMELLE, L. A. de La, 1856, *Vie de Maupertuis*, Paris, Ledoyen Libraire

BRUNET, Pierre, 1938, *Etude Historique sur le Principe de La Moindre Action*, Paris, Hermann & cie ;

CALINGER, R., 1999, *A Contextual History of Mathematics*, Upper sassle River, Prentice-Hall;

COSTABEL, Pierre, 1983, *La question des Forces Vives*, Cahiers d'Histoire et des Philosophies des Sciences, 8

D'ALEMBERT, Jean, 1990, *Traité de Dynamique*, Paris, Éditions Jacques Gabay ;

DUGAS, René, 1954, *La Mécanique au XVII<sup>E</sup> siècle*, Neuchatel-Suisse, Éditions du Griffon.

EULER, L., 1744, *Methodus inveniendi lineas curvas maximi minimive proprietate gaudentes, sive solutio problematis isoperimetrici latissimo sensu accepti*, Lausanne & Geneve, Marcum-Michaelem Bousquet & socios

EULER, L., 1812, *Lettres à une Princesse d'Allemagne*, Paris, Librairie Bachelier ;

FERMAT, Pierre de, 1891-1922, *Oeuvres*, publiées par P. Tannery et Ch. Henry, Paris, Gauthier-Villars;

FIRODE, Alain, 2001, *La Dynamique de D'Alembert*, Montreal/Paris, Bellarmin/Vrin;

GILLESPIE, Charles C. (ed.), 1970-80, *Dictionary of Scientific Biography* (16 vols), New York, Charles Scribner's sons;

GRAVE, Patricia Radelet-de, 1998a, *La moindre action comme lien entre la philosophie naturelle et la mécanique analytique: continuités d'un questionnement*, LLULL, vol. 21 (41), 439-484 ;

GRAVE, Patricia Radelet-de, 1998b, *La diatribe du Docteur Akakia, Médecin du pape, in Interferences*, textes du Séminaire, Louvain-la-Neuve, Centre interfacultaire d'étude en histoire des sciences, UCL;

GUEROULT, M., *Dynamique et Métaphysique Leibniziennes*, Strasbourg, Publications de la Faculté des lettres de l'Université de Strasbourg, Fasc. 68 ;

HUYGHENS, Christian, s/d, *Horologium Oscillatorium*, Traduit du latin en Français, avec un avertissement et des notes par Jean Peyroux, Paris, Librairie A. Blanchard (dif.)

LAGRANGE, Joseph-Louis, 1892, *Œuvres*, XIV, Paris ;

MAUPERTUIS, P., 1740, *Lois du repos des corps*, Mémoire de l'ARS de Paris, 170-176.

MAUPERTUIS, P., 1744, *L'accord de différentes lois de la nature qui avaient jusqu'ici paru incompatibles*, Mémoire de l'ARS de Paris, 417-426.

MAUPERTUIS, P., 1756, *Oeuvres* (4 tomos), Lyon, Jean-Marie Bruyset;

NEWTON, Isaac, 1962, *Principia mathematica philosophiae naturalis*, ed. Cajori, (1962, University of California Press).

PANZA, Marco, 1995, *De la nature épargnante aux forces généreuses: le principe de moindre action entre mathématiques et métaphysique. Maupertuis et Euler, 1740-1751*, Rev. Histoire Sci. 48 (4), 435-520 ;

PATY, Michel, 2002, *Les recherches actuelles sur d'Alembert*, in Michel, Alain et Paty, Michel (éds.). *Analyse et dynamique. Etudes sur l'œuvre de d'Alembert*, Québec, Presses de l'Université Laval ;

PLANCK, Max, 1960, *A Survey of Physical Theory*, NY, Dover Publications Inc.

TRUESDELL, Charles, 1975, *Ensayos de Historia de la Mecánica*, Madrid, Editorial Tecnos.

VOLTAIRE, 1961, *Romans*, Paris, Le Livre de Poche.

VOLTAIRE, 1964, *Lettres philosophiques*, Paris, Garnier-Flammarion.

## OS GREGOS<sup>1</sup>

### 2.1 OS PRÉ-SOCRÁTICOS

**1. (o milagre Grego)** «Chamou-se “o milagre grego”, com pleno direito, a essa criação efectuada pela inteligência helénica: criação de uma ciência e de uma filosofia que não são unicamente ciência e filosofia *grega*, mas (...) a ciência e a filosofia em geral, cuja ideia, orientação e metodologia permanecem em toda a ciência e filosofia posterior, inspirando-a e dirigindo-a. Contudo, na exaltação desse milagre, ultrapassou-se amiúde o limite de uma equilibrada compreensão e avaliação histórica, e pelo desejo de ressaltar o seu carácter excepcional tem-se querido, por vezes, separá-lo e isolá-lo de toda a continuidade de desenvolvimento histórico, quer negando qualquer influxo ou contribuição de outras culturas anteriores no seu nascimento e desenvolvimento inicial, quer caracterizando-o mediante uma oposição com os caracteres e desenvolvimentos das culturas posteriores»<sup>2</sup>.

«Os primeiros passos da civilização grega foram dados exactamente -facto significativo- nas colónias da Ásia menor, onde o contacto directo e indirecto com os povos mais adiantados do Oriente estimulou as energias criadoras do génio helénico, que logo afirmaram o seu poder maravilhoso, superando rapidamente toda a criação das culturas predecessoras»<sup>3</sup>.

«O nascimento da filosofia aparece por conseguinte solidário de duas grandes transformações mentais: um pensamento positivo, excluindo qualquer força de sobrenatural e rejeitando a assimilação implícita estabelecida pelo mito entre fenómenos físicos e agentes divinos; um pensamento abstracto, despojando a realidade dessa força de mudança que lhe conferia o mito (...)»<sup>4</sup>.

«Sobre as condições que permitiram na Grécia do VI século, esta dupla revolução, Cornford não dá qualquer explicação. Mas no meio século que decorre entre a publicação das suas duas obras, o problema foi posto por outros autores. (...) Schuhl, em introdução ao estudo da filosofia positiva dos Milésios, acentuava a amplitude das

---

<sup>1</sup> Elaborado para discussão na disciplina de HISTÓRIA DAS IDEIAS EM FÍSICA.

<sup>2</sup> MONDOLFO, Rodolfo, 1958, *O Génio Helénico*, In V. de Magalhães Vilhena (dir.), *Panorama do Pensamento Filosófico* (vol.II), Lisboa, Edições Cosmos, p.12.

<sup>3</sup> *ibid.* p.14.

<sup>4</sup> VERNANT, Jean-Pierre, 1958, *Do Mito à Razão*, In V. de Magalhães Vilhena (dir.), *Panorama do Pensamento Filosófico* (vol.II), Lisboa, Edições Cosmos, p.88.

transformações sociais e políticas que precedem o século VI. Notava a função libertadora que desempenharam, para o espírito, instituições como a moeda, o calendário e a escrita alfabética; o papel da navegação e do comércio na nova orientação do pensamento voltado para a prática. Benjamin Farrington, por seu turno, ligava o racionalismo dos primeiros físicos da Jónia ao progresso técnico das ricas cidades gregas da Ásia menor. Substituindo os antigos esquemas antropomórficos por uma interpretação mecanista e instrumentalista do universo, a filosofia dos jónios reflectiria a importância crescente da técnica na vida social da época. O problema foi retomado por George Thomson, que formula contra a tese de Farrington uma objecção decisiva. É impossível estabelecer um laço directo entre pensamento racional e desenvolvimento técnico. No plano da técnica a Grécia nada inventou nem inovou. Tributária do oriente neste domínio, nunca realmente o ultrapassou. E o Oriente, apesar da sua inteligência técnica, nunca pode libertar-se do mito nem construir uma filosofia racional. Cumpre, portanto, fazer intervir outros factores e Thomson insiste, com razão, sobre dois grandes grupos de factos: a ausência, na Grécia, de uma monarquia tipo oriental, bem cedo substituída por outras formas políticas; os começos, com a moeda, de uma economia mercantil, o aparecimento de uma classe de comerciantes, para os quais os objectos se despojam da sua diversidade qualitativa (valor de uso) e só têm a significação abstracta de uma mercadoria semelhante a todas as outras (valor de troca). Se se quiser, no entanto, discernir de mais perto as condições concretas nas quais se pode operar a mutação do pensamento religioso em pensamento racional, é necessário fazer um novo rodeio. A física jónia esclareceu-nos sobre a primitiva filosofia, mostrou-nos aí uma transposição dos mitos cosmogónicos, a «teoria» dos fenómenos de que o rei, nos tempos antigos, possuía o domínio e a prática (...)»<sup>5</sup>.

**2. (os diferentes períodos do pensamento Grego)** «Os historiadores dividem habitualmente a filosofia dos Gregos em três períodos: o período cosmológico, que vai de cerca de 600 ac a cerca de 450 ac; o período antropológico (prático) que preenche a Segunda metade do século V, aproximadamente (450 ac -400

---

<sup>5</sup> ibid. p.89.

ac), e o período sistemático, que contem o desenvolvimento dos três grandes sistemas da ciência grega, os de Demócrito, de Platão e de Aristóteles (400 ac -322 ac).»<sup>6</sup>

É no período cosmológico que se situa a escola de Mileto (TALES (624-548 AC), ANAXIMANDRO (611-547 AC), ANAXIMENES (585-528 ou 533-499)), os Pitagóricos e a escola de Eleia.

O conhecimento dos gregos assentou sobretudo nos conhecimentos matemático-geométricos dos egípcios e nos conhecimentos astronómicos dos povos da babilónia. Tanto quanto se sabe, a matemática egípcia consistia primordialmente no conhecimento de operações de cálculo aritmético com objectivos práticos, por exemplo, medir determinadas quantidades de víveres ou dividir um determinado número de objectos por um determinado número de cestos. Analogamente a geometria também estava eivada deste espírito prático e respondia às necessidades de medição dos campos (não nos esqueçamos que, após as cheias, todas as marcas delimitatórias desapareciam, era portanto necessário, quando as águas voltavam ao seu curso natural, refazer geometricamente os seus limites) de construção das pirâmides. O mesmo acontecia na astronomia babilónica, o seu objectivo era também eminentemente prático: fazer horóscopos e previsões, elaboração de um calendário.

Há que assinalar um facto muito importante: a filosofia grega nasceu primeiro nas colónias, Ásia Menor (Mileto) e na Itália Meridional, só depois passou para a metrópole. Isto aconteceu assim porque as colónias, graças à sua actividade comercial enquanto entrepostos directamente em contacto com outros povos, alcançaram primeiro que a metrópole o desenvolvimento, criando assim as condições sócio-políticas-económicas que lhes permitiu um florescimento da actividade intelectual.

Uma breve referência sobre as fontes do que hoje conhecemos sobre o pensamento dos diferentes filósofos e escolas na Grécia nos períodos anteriores ao «período sistemático». As fontes situam-se sobretudo na obra de Platão e Aristóteles que em diversas ocasiões dão informações sobre os seus predecessores, e ainda nos trabalhos de historiadores que de uma forma sistemática se aplicaram a recolher e

---

<sup>6</sup> WINDELBAND, Wilhelm, 1958, *Alvores do Pensamento Filosófico Grego: Período Cosmológico*, In V. de Magalhães Vilhena (dir.), *Panorama do Pensamento Filosófico* (vol.II), Lisboa, Edições Cosmos, p.119.



classificar, ordenadamente, as opiniões dos filósofos antigos<sup>7</sup>. Contudo, a obra destes historiadores sistematizadores, os *doxógrafos*, tem que ser sujeita a uma forte análise crítica no sentido de reconstituir o verdadeiro arquétipo dos documentos doxográficos.



**3. (A escola de Mileto) TALES (624-547 AC)** de Mileto (Ásia Menor, actualmente Turquia) foi o primeiro pensador desta escola. Não se conhece nenhuma obra que tenha escrito, a reconstituição do seu pensamento e de alguns passos biográficos são feitos através das referências de outros autores, por exemplo, Prócuro, filósofo grego que viveu por volta do período de 450 da nossa era, escreveu: «[Tales] primeiro visitou o Egipto e depois introduziu os estudos de geometria na Grécia (...)».

Matemático, geómetra, astrónomo e filósofo, visitou com interesses culturais o Egipto, o que nessa época era raro, pois só os comerciantes e os militares viajavam. Previu um eclipse e mediu a altura de um monumento servindo-se da sua

<sup>7</sup> VOILQUIN, Jean, *Introduction*, in Jean Voilquin (org.), 1964, *Les Penseurs Grecs Avant Socrate*, Paris, Garnier-Flammarion, p.14.

sombra quando projectada coincidia com a sombra de uma vara entreposta na vertical, uma consequência do teorema que tem o seu nome. Escreveu Plutarco: «...gostou da tua maneira de medir a pirâmide... limitando-te a colocar o bastão no limite da sombra lançada pela pirâmide, gerando o raio de Sol tangente dois triângulos, demonstraste que a relação entre a primeira sombra e a Segunda era a mesma que entre a pirâmide e o bastão. Mas também te acusaram de não gostar de reis»<sup>8</sup>.

Em muitas obras de história da matemática são atribuídos a Tales cinco teoremas da geometria<sup>9</sup>:

- (i) Um angulo inscrito num semicírculo é um angulo recto.
- (ii) O Círculo é dividido em duas partes iguais por qualquer diâmetro.
- (iii) Os ângulos de base de um triângulo isósceles são iguais.
- (iv) Os ângulos definidos pela intersecção de duas rectas são iguais..
- (v) Dois triângulos são congruentes se tiveram dois ângulos e um lado iguais.

Comerciante e viajante, Tales pode ter recolhido nas suas longas viagens conhecimentos de geometria e astronomia que difundiu no mundo helénico. Contudo a tradição diz que foi com ele que se iniciou a filosofia e a ciência grega, pois foi ele que colocou o problema da origem do mundo, indagando sobre a natureza (*physis*) das coisas, isto é qual a matéria primitiva de cujas transformações deu origem aos fenómenos que ocorrem no Universo. O que hoje conhecemos sobre a sua filosofia deve-se a Aristóteles que na *Metafísica* escreveu: «Tales de Mileto pensava que todas as coisas tinham a sua origem na água».

O princípio de tudo está na *água* que dá origem ao gelo, aos rios e mares, ou se evapora formando o ar. Tales confronta a sua ideia básica com o que se passa na natureza: o húmido é a fonte da vida, é um fertilizante e é necessário à germinação. Para Tales a Terra era um disco que flutuava num imenso Oceano. É a ele que se deve a primeira tentativa de conceber um princípio que, à custa de um pequeno número de hipóteses, explicasse os fenómenos observados.

**ANAXIMANDRO (611-547 AC)**, também nascido em Mileto, é o segundo filósofo desta escola. Perante a observação da natureza e procurando responder ao mesmo problema (a determinação do seu princípio), este filósofo apresenta uma

---

<sup>8</sup> SERRES, Michel, 1997, *As Origens da Geometria*, Lisboa, Terramar, p.167.

<sup>9</sup> BOYER, Charles, 1989, *A History of Mathematics*, New York, John Wiley and Sons.

solução que tem, com a de Tales, analogias evidentes e, ao mesmo tempo, diferenças profundas. Tal como Tales aceita um único princípio material e, também como ele, afirma que essa substância inicial é geradora e infinita. Ela estende-se sem limite para lá do próprio Universo. Mas este princípio é para Anaximandro, não a água ou o ar, mas o *apeiron*, termo sem tradução precisa, ou que pode significar «qualquer coisa»: uma vez admitida a transmutabilidade das substâncias umas nas outras, a escolha que se faça de qualquer elemento primordial é perfeitamente indiferente.

**ANAXIMENES (585-528 ou 533-499)** é o último dos três filósofos conhecidos da escola de Mileto. Na mesma linha de Tales e Anaximandro, Anaximenes defende a existência de uma substância primordial. Para Anaximandro essa substância não é a Terra, mas o *ar*, o que lhe é sugerido pela sua atenta observação dos processos de evaporação e condensação dos líquidos. Extractos da doxografia. «(...) tudo o que existe se engendrou por uma determinada condensação do ar ou, ao contrário, por uma dilatação. O movimento existe ao longo de toda a eternidade. A terra foi criada pela compressão do ar. Ela é muito achatada e é, por consequência, suportada pelo ar. Quanto ao Sol, à Lua e aos outros astros tiveram na Terra a sua origem (...)»<sup>10</sup>. O *ar* condensado aparece primeiro que a *água*. Em Anaximenes há uma regressão ao sistema de Tales.

**4. (A escola Pitagórica) Os Pitagóricos** surgiram no final do século VI e o seu fundador foi **PITÁGORAS (582-500 AC)** nascido na ilha de Samos que, tal como Mileto era uma potência comercial naquelas paragens e onde os mercadores, contra os velhos senhores da terra, tinham conquistado o poder político<sup>11</sup>. Em Pitágoras ou nos pitagóricos, a sua originalidade na interpretação da natureza diz respeito à importância fundamental atribuída aos contrários. Abandonaram o esquema da escola de Mileto, a existência de uma substância primordial, apresentando-se uma teoria dualista. Conhece-se a sua tabela de contrários, são dez, cinco de natureza matemática (limitado-ilimitado, impar-par, uno-multiplo, recta-curva, quadrado-rectângulo). Aristóteles dirá mais tarde que, para os Pitagóricos, os números são os elementos constitutivos da matéria. Esta concepção, em conjunto com a preferência da antiga aritmética pitagórica pelo número discreto e pelas quantidades descontínuas ou

---

<sup>10</sup> In Jean Voilquin (org.), 1964, *Les Penseurs Grecs Avant Socrate*, Paris, Garnier-Flammarion, p.56.

<sup>11</sup> FARRINGTON, Benjamin, 1966, *Greek Science*, London, Penguin Bookz, p. 43.

«mónadas», deixou supor que a este «atomismo» matemático poderia responder um atomismo físico, primeiro esboço de uma doutrina que será desenvolvida com muito mais rigor pela escola de Abdera. O «vazio» dos Pitagóricos não é ainda o vazio absoluto de Demócrito, ele é assimilável ao ar, permanece matéria ambiente, no seio da qual o mundo «respira».

Dos pitagóricos escreveu, dois séculos mais tarde, Aristóteles: «(...) aqueles a quem se chama pitagóricos foram os primeiros a consagrar-se às matemáticas e fizeram-nas progredir. Penetrados desta disciplina, pensaram que os princípios das matemáticas eram os princípios de todos os seres. Como, desses princípios, os números são, pela sua natureza, os primeiros, e como, nos números, os pitagóricos pensavam aperceber uma multidão de analogias com as coisas que existem e se transformam, mais que no Fogo, na Terra e na Água (tal determinação dos números sendo a justiça, tal outra a alma e a inteligência, tal outra o tempo crítico, e do mesmo modo para cada uma das outras determinações); como eles viam, além disso, que os números exprimiam as propriedades e as proporções musicais; como, enfim, todas as coisas lhes pareciam, na sua inteira natureza, ser formadas à semelhança dos números e que os números pareciam ser as realidades primordiais do Universo, consideraram que os princípios dos números eram os elementos de todos os seres e que o Céu inteiro é harmonia e número»<sup>12</sup>.

Com os pitagóricos as relações matemáticas tomaram o lugar dos processos ou estados físicos que explicavam as transformações da natureza, a sua teoria era muito mais abstracta que as ideias «intuitivas» da escola de Mileto. Parece estar na Babilónia a origem do célebre Teorema de Pitágoras, mas são os pitagóricos os primeiros a tentarem demonstrá-lo. Contudo o desenvolvimento matemático desta escola abriu a sua própria crise e tudo isto está relacionado com o célebre teorema de Pitágoras: seja um quadrado de lado  $b = 1$  e cuja diagonal é  $a$  e queremos determinar o valor desta em relação ao primeiro; supondo esta medida possível, os dois valores são comensuráveis; ora pelo teorema de Pitágoras  $a^2 = 2b^2$ , logo  $b = \sqrt{2}$  que é um número que se situa algures entre 1 e 2. Vamos exprimir este resultado na forma de uma fracção irredutível  $\sqrt{2} = \frac{m}{n}$ , o que é o mesmo de  $m^2 = 2n^2$ ,  $m^2$  é par e  $m$  também. Logo  $n$  é ímpar, caso contrário

---

<sup>12</sup> Aristóteles, Metafísica, A5, in Bento de Jesus Caraça, 1963, Conceitos Fundamentais da Matemática, Lisboa, p.69.

a fracção considerada seria redutível. Por outro lado  $m$  pode escrever-se na forma  $2p$  o que implica  $4p^2 = 2n^2$  ou  $n^2 = 2p^2$ , então  $n$  é um número par. Situação impossível: o número  $n$  é simultaneamente par e ímpar. Portanto é impossível medir a diagonal em relação ao lado, eles são incomensuráveis entre si; logo não é possível calcular o valor da diagonal de um quadrado igual à unidade em relação ao seu lado.

A reacção dos pitagóricos foi esconder a conclusão, escreveu Plutarco: «(...) diz-se que os pitagóricos não queriam por as suas obras por escrito, nem as suas invenções, mas imprimiam a ciência na memória daqueles que eles conheciam dignos disso. E como algumas vezes comunicaram alguns dos seus mais íntimos segredos e das mais escondidas subtilidades da geometria a alguma personagem que o não merecia, eles diziam que os deuses por presságios evidentes, ameaçavam vingar este sacrilégio e esta impiedade, com alguma grande e pública calamidade»<sup>13</sup>. O carácter de seita da escola pitagórica, onde o aspecto místico ombreava com o aspecto filosófico-científico, prestava-se a essa interpretação de um segredo imposto em torno de uma questão tão embaraçosa.

«Uma outra tentativa de fuga parece ter residido numa vaga esperança de que, considerando como infinito - um infinito grosseiro, mal identificado, que era mais um *muito grande*, do que o infinito moderno- o número de mónadas que formam um segmento de recta, talvez as dificuldades desaparecessem»<sup>14</sup>, pois o absurdo de um número ser par e ímpar, como se viu na demonstração da incomensurabilidade, não poderia desaparecer no caso desse número ser infinito?

Devem-se também aos Pitagóricos alguns contributos importantes no domínio da astronomia: o reconhecimento da esfericidade da Terra, a identificação da «estrela da manhã» e da «estrela do anoitecer» com o planeta Vénus.

**5. (A escola Eleática)** Oriunda de Eleia, cidade da costa ocidental sul da Itália (actualmente Lucania), uma das muitas colónias gregas nesta península, teve como seu fundador **PARMÉNIDES (515-450 AC)**. São palavras suas: «(...) é preciso que te informes de tudo, não só da verdade como das opiniões humanas. A estas não deves conceder um crédito de verdade: entretanto, é preciso que tu as conheças também, de modo a que, por um questionamento que se estende sobre tudo e em tudo, qual é o

---

<sup>13</sup> In Bento de Jesus Caraça, 1963, Conceitos Fundamentais da Matemática, Lisboa, p.75.

<sup>14</sup> *ibid.*

juízo que deves fazer sobre a realidade dessas opiniões (...) Afasta o teu pensamento dessa via de pesquisa e não deixes que a experiência te force a seguir cega e surdamente por esse caminho. Mas é pela razão que se deve atacar o problema controverso (...) esta é a única via que te resta (...)»<sup>15</sup>. Parménides separa a razão da observação (experiência), a primeira é o instrumento para aceder à verdade, enquanto que os sentidos conduziram ao efémero, ao limitado, ao contingente, à opinião. Parece ter sido Parménides que foi o primeiro a demonstrar a esfericidade da Terra e a sua posição no centro do Universo. Considerava a existência de dois elementos: o fogo e a terra; o primeiro era o elemento criador enquanto o segundo correspondia à matéria<sup>16</sup>. Parménides elaborou o conceito do ser, a que atribui a «ausência de origem e de efemeridade (...) homogeneidade geral e absoluta imutabilidade»<sup>17</sup>. Esta imutabilidade e homogeneidade do chefe de fila da escola eleática opõe-se claramente às modificações qualitativas da matéria universal assumidas pelos pensadores da escola de Mileto, bem como à teoria dualista, de oposição de contrários dos Pitagóricos.

Esta oposição ao pensamento anterior traduzir-se-á pelos argumentos de **ZENÃO DE ELEIA ( 490-425 AC)**, um dos seus discípulos, aos pontos de vista dos pitagóricos. Pouco se sabe sobre a vida deste filósofo e uma importante fonte sobre a sua obra é o diálogo de Platão, *Parménides*, onde nos é contada a visita de Zenão e do seu mestre a Atenas. Zenão apresentou os seus célebres paradoxos contra a concepção «corpúscular» da escola pitagórica. Aristóteles na Física descreve os quatro paradoxos de Zenão, donde, entre eles, constam o de Aquiles e a tartaruga e o do movimento da seta.

De uma forma sintética apresentamos aqui a exposição de Zenão, socorrendo-nos de citação:

« (...) como querem que a recta seja formada por corpúsculos materiais de extensão não nula? Isso vai contra a vossa afirmação fundamental de *que todas as coisas têm um número*. Com efeito, entre dois corpúsculos, 1 e 2, deve haver um espaço — se estivessem unidos, em que se distinguiam um do outro? — e esse espaço deve ser maior que as dimensões de um corpúsculo, visto que estas são as menores concebíveis;

<sup>15</sup> PARMENIDES, *De la Nature*, In Jean Voilquin (org.), 1964, *Les Penseurs Grecs Avant Socrate*, Paris, Garnier-Flammarion, p.93.

<sup>16</sup> In Jean Voilquin (org.), 1964, *Les Penseurs Grecs Avant Socrate*, Paris, Garnier-Flammarion, p.99.

<sup>17</sup> WINDELBAND, Wilhelm, 1958, *Alvores do Pensamento Filosófico Grego: Período Cosmológico*, In V. de Magalhães Vilhena (dir.), *Panorama do Pensamento Filosófico* (vol.II), Lisboa, Edições Cosmos, p.141.

logo entre os dois posso intercalar um corpúsculo, 3, e fico com dois espaços: um entre 1 e 3, e outro entre 3 e 2, nas mesmas condições. Posso repetir o raciocínio indefinidamente e fico, portanto, com a possibilidade de meter entre 1 e 2 quantos *corpúsculos quiser*; qual é então o número que pertence ao segmento que vai de 1 a 2?

(...) considerai uma flecha em movimento percorrendo um segmento de recta; em cada instante a ponta da flecha ocupa um lugar: a localização de uma mónada. O que se passa entre um lugar e o seguinte? Nada! Porque, não havendo nada entre duas mónadas consecutivas não podeis dizer-me coisa alguma sobre um movimento que se realize onde nada existe; conclusão: o movimento da flecha é uma sucessão de imobilidades»<sup>18</sup>.

A concepção pitagórica está irremediavelmente perdida e os argumentos de Zenão mostram a incompatibilidade daquela teoria com a estrutura da recta. Dois problemas complicados, o da incomensurabilidade e da continuidade, intimamente ligados aos problemas do infinito e do movimento. Problemas que só virão a ser resolvidos na matemática do século XIX.

**6. (EMPEDOCLES)** É em Agrigento, na Sicília, que nasceu **EMPEDOCLES (492-432 AC)**. Dele chegaram até nós dois poemas : *Sobre a natureza* e *Lustrália*. É no seu primeiro poema que são nomeadas as substâncias que permanecem eternamente indestrutíveis e que compõem tudo, aquilo a que chamou «raízes de todas as coisas», e que são a *água*, o *ar*, a *terra* e o *fogo*. Enquanto que a escola jónica partia da substância primordial e assumia que, por diversas transformações, se obtinham todas as outras, Empédocles proclama a não alteração qualitativa das suas quatro substâncias. Daqui nasce a noção de elemento, como qualquer coisa de originário e qualitativamente imutável. Assim os quatro elementos, ao misturarem-se dão origem às coisas singulares e ao separarem-se provocam a sua corrupção. As propriedades das «coisas» resultam das diferentes propriedades dos elementos e do modo como se faz a mistura. Esta união é uma união mecânica e espacial, não inclui qualquer transformação. As forças capazes unir e separar são, segundo Empédocles, forças cósmicas que, para o primeiro caso, é o amor ou a amizade e para o segundo o ódio ou a discórdia. Quando predomina a

---

<sup>18</sup> CARAÇA, Bento de Jesus, 1963, *Conceitos Fundamentais da Matemática*, Lisboa, p.77.

primeira os elementos juntam-se numa unidade, quando predomina a segunda os elementos separam-se.

## **2.2 A SISTEMATIZAÇÃO DE ARISTÓTELES (384-322)**

### **(a primeira sistematização ocidental do conhecimento)**

1. Enquanto qualquer dos pensadores anteriores se dedicou a um determinado ciclo de problemas, mostrando-se relativamente instruído em certos domínios da realidade, três grandes homens, Demócrito, Platão e Aristóteles reuniram no seu saber «tudo quanto tinha sido conquistado pela experiência e observação; comparavam e examinavam os conceitos que daí se tinham formado, combinando e relacionando de maneira fecunda o que até então se tinha produzido separadamente. A extensão e a multiplicidade da sua actividade literária revelam já a universalidade do seu interesse científico, e a abundância do material elaborado nas suas doutrinas explica-se em parte pela viva colaboração das suas grandes escolas». «A sistematização do saber numa doutrina filosófica geral efectuou-se em linha ascendente, desde Demócrito e Platão a Aristóteles, mas só este último conseguiu encontrar a forma de uma estrutura orgânica da ciência nas disciplinas particulares. Com Aristóteles, termina deste modo o desenvolvimento da filosofia grega e começa a era das ciências»<sup>19</sup>

**2. (a vida)** Aristóteles nasceu no ano 384 AC em Estagira, pequena colónia jónica da Trácia. Foi para Atenas onde estudou na Academia e tornou-se o discípulo predilecto de Platão, tendo-o acompanhado dos dezoito até aos trinta e cinco anos. Sai de Atenas após a morte do mestre. É um homem singular que durante alguns anos leva uma vida aventureira até ser chamado por Filipe da Macedónia, em 342, para ocupar o lugar de preceptor do seu filho Alexandre então com treze anos. Retorna a Atenas após a aventura de Conquista de Alexandre o Grande e funda a sua escola nos jardins sagrados do Liceu de Apolo. À organização dos cursos e ao desenvolvimento da sua vasta e sistemática actividade professoral dedicou os anos da sua vida de actividade mais intensa. Quando da morte de Alexandre deixa Atenas onde as suas ligações à Macedónia o tornam suspeito. Morre em Calcis com a idade de sessenta e dois anos.

---

<sup>19</sup> WINDELBAND, W., 1958, *O Período Sistemático*, In V. de Magalhães Vilhena (dir.), *Panorama do Pensamento Filosófico* (vol.II), Lisboa, Edições Cosmos, p.269.



**3. (a obra)** Sistematizando, a sua obra pode agrupar-se, sobretudo, em cinco domínios:

1º- Os tratados de Lógica reunidos na obra *Organum*;

2º- As obras relativas ao universo sensível ou filosofia natural, *Physica* (em 8 livros), o tratado *De Generatione et Corruptione* (2 livros), o tratado *De Coelo* (4 livros) e a *Meteorologia* (4 livros);

3º- Os catorze volumes sobre a *Metafísica*;

4º- A história natural, *Historia Animalium* (10 livros onde consta uma vastíssima recolha de observações), *De Partibus Animalium* (4 livros), *De Generatione Animalium* (5 livros)

5º- A estes tratados seguem-se ainda *A Estética*, dividida na *Retórica* e na *Poética*, e, por fim a *Ética* e a *Política*.

**4. (a Lógica)** «O primeiro escopo da lógica aristotélica é, segundo as expressas declarações do filósofo, inteiramente *metodológico*. O objectivo é o de mostrar o caminho pelo qual se alcança sempre a meta do conhecimento científico. Tal como na retórica se ensina a arte da persuasão, na lógica ensina-se a arte da investigação, do conhecimento e da investigação científicas»<sup>20</sup>. A lógica de Aristóteles constitui uma sistematização organizada da arte de raciocinar. O objectivo principal da lógica é o de conhecer a relação, verdadeira entre o *universal* e o *particular*. Para o filósofo «aprender conceptualmente e demonstrar são a mesma coisa: *dedução do particular a partir do universal*»<sup>21</sup>.

A silogística tornou-se consequentemente o cerne da lógica aristotélica. Analisa e classifica os tipos elementares de raciocínio dedutivo que aparecem nos diversos esquemas do silogismo. Em geral num raciocínio perfeito deve haver três proposições, duas das quais actuam como antecedentes e são nomeadas de premissas, enquanto a terceira é o conseqüente e corresponde á conclusão extraída das duas primeiras. Aristóteles não só estabeleceu o silogismo, como também estudou as diversas figuras possíveis de silogismos e, dentro destas, os seus diferentes modos.

---

<sup>20</sup> Ibid. p.342.

<sup>21</sup> Ibid.

Aristóteles estabeleceu também as regras do silogismo científico ou da demonstração. Segundo ele a demonstração matemática obedecia ao esquema:

- 1) termos ou definições
- 2) Suposição da existência de coisas designadas pelos termos
- 3) Proposições imediatas que ocorrem necessárias do conhecimento para aprender qualquer coisa, os axiomas
- 4) hipóteses ou postulados, necessárias no raciocínio matemático, das quais se admite a existência sem sobre ela ter uma ideia adequada.

**5. (os elementos)** Aristóteles continua fiel ao esquema de Empédocles dos quatro elementos: *Terra, Água, Ar e Fogo*. Para ele os elementos não constituem os primeiros corpos, mas os aspectos de uma substância única, a «matéria primeira», passível de formas diferentes segundo as qualidades que a afectam. As diferentes formas que a matéria pode revestir preexistem nela no estado de possibilidade, existem em *potência*.

As formas elementares em potência modificam-se pelo efeito de quatro qualidades fundamentais: o *frio*, o *calor*, o *seco* e o *húmido*. Estas qualidades não se encontram isoladas, mas em pares, e é a presença de um desses pares que caracteriza cada um dos quatro elementos, mas dois pares devem excluir-se (o frio-calor e o seco-húmido) pois qualidades contrárias não podem emparelhar. Restam assim quatro pares possíveis: frio-seco, frio-húmido, calor-seco e calor-húmido. Quando a matéria primeira é afectada pelas qualidades frio-seco, ela torna-se o elemento terra; a água corresponde ao par frio-húmido; o ar ao par calor-húmido e o fogo ao par calor-seco.. estes quatro elementos, não as suas combinações, dão origem a todos os corpos, infinitamente diversos, que se encontram na natureza. Por outro lado, eles podem transformar-se entre eles, cada um dos quatro sendo susceptível de engendrar os outros três. É preciso, contudo, que esta geração seja «circular», pois o calor-seco, por exemplo, não pode sair directamente do frio-húmido, mas somente por intermédio do calor-húmido ou do frio-seco. A passagem de um elemento para outro, por exemplo da água para o fogo, exigirá simplesmente «um tempo mais longo». Este modo de permutação que só diz respeito aos quatro elementos simples, designa-se por *alloiosis*.

Quanto aos corpos compostos, eles resultam de três operações: a *síntese* que é uma simples mistura; a *mixis* e a *krasis* que corresponde, aproximadamente, ao que hoje se designa por transformação química e solução.

Para Aristóteles existe um quinto elemento o *éter* que constitui o mundo celeste e cujas propriedades são a inalterabilidade e incorruptibilidade.

**6. (o movimento)** O movimento exprime a coexistência simultânea da potência e do acto. A física aristotélica deriva de três princípios: a matéria, a forma e a privação. A matéria é uma simples potência; a forma é o que existe em acto; a privação é o que não existe. O termo *kinesis* (movimento) significa:

1º- alteração da substância

2º alteração da grandeza do corpo (dilatação ou contracção)

3º Alteração da qualidade

4º Alteração do lugar e produz-se por translação.

Tudo isto se passa no mundo sublunar, no mundo celeste só existe um elemento, o éter, incorruptível, e onde só existe o movimento circular, o único que é compatível com um Universo finito. O movimento em linha recta só é possível no mundo sublunar. As alterações de lugar são de dois tipos: as *naturais* (queda de um corpo, o corpo dirige-se para o seu lugar natural, aquele a que pertence); e *violentos* (o corpo afasta-se do lugar a que pertence). Todo o movimento implica um motor. Num movimento há que ter em conta dois aspectos: a acção do motor, à qual o corpo está submetido, e, por outro lado a resistência do meio atravessado pelo corpo. É esta resistência que trava o movimento, perdendo esta velocidade, e no momento em que equilibra a força motora o corpo pára. Para Aristóteles há uma relação entre a velocidade e a Resistência (variarão na razão inversa). Desta relação se conclui que para uma resistência nula deverá haver uma velocidade infinita, o que não é possível, logo a resistência nunca poderá ser nula, donde se conclui que não pode existir o **vazio**. Evidentemente que a não existência de vazio vai implicar a negação de um modelo atomista para a constituição da matéria.

**7. (O Universo)** A Terra ocupa o lugar central, em torno da qual há a região da água, do e do fogo, cada elemento tem o seu lugar próprio. O seu conjunto forma o mundo sublunar. Para lá deste mundo estende-se a região do éter incorruptível e

das esferas celestes, sendo aquela que está mais perto da Terra a esfera da Lua e a mais afastada a das estrelas fixas. Todas estas esferas se movem em torno da Terra. A Terra está imóvel (outros filósofos gregos não o admitiam- Filolao e Heraclito), avançando Aristóteles com o argumento que se o corpo lançado ao ar, ao voltar à Terra não chegaria ao mesmo lugar no caso de ela se mover. O Universo é único e limitado, sendo o seu diâmetro a maior recta que seria possível traçar. Para Aristóteles a explicação do movimento dos astros é resolvida por este sistema de esferas homocêntricas que se movimentam apoiadas, por sua vez, em outras tantas esferas animadas de movimento (esferas compensadoras). Todo este sistema chegou a 56 esferas celestes.

**8. (Os Animais)** Nos últimos 12 anos de sua vida, Aristóteles levou por diante a tarefa de observação sistemática dos seres vivos com o objectivo de os classificar. Estudou a forma e o comportamento de cerca de 500 classes diferentes de animais, dissecando aproximadamente 50 tipos. Foi o primeiro a dividir o mundo animal entre vertebrados e invertebrados e estudou minuciosamente certos animais. Nos seus dez livros da obra *Historia Animalium* que se acredita ser uma obra colectiva, supervisionada por ele, classificou os animais, descrevendo as suas características tais como estrutura e fisiologia, os seus hábitos de procriação e, em alguns casos, processos embriológicos. Por meio de observações Aristóteles dividiu os animais em animais de sangue quente e frio. Os de sangue quente são os mais perfeitos, possuem mais calor. Na escala de perfeição dos animais está uma hierarquia baseada nos modos de reprodução: os mais perfeitos são os vivíparos (os filhos nascem iguais aos pais), depois seguem-se os ovovivíparos e os ovíparos. Estes últimos distinguem-se em dois: os ovos perfeitos e os imperfeitos, estes são os que apresentam lagartas e precisam de passar por metamorfoses. Os animais mais inferiores são os que se assemelham a plantas. Apoiado nestas classificações, procurou outras diferenciações entre os animais recorrendo a minuciosas observações díficeis de conseguir para uma época onde não havia o recurso à lupa e ao microscópio. Descreveu a anatomia de um animal, tentando também compreender a função das partes do corpo. Apresentou estudos de mamíferos, peixes, insectos muito pormenorizados, sendo capaz de descrever pequenos detalhes dos corpos de grilos, borboletas, abelhas entre outros pequenos animais.

## 2.3 A ESCOLA DE ALEXANDRIA

**1. (Introdução)** Em 334 ac Alexandre Magno iniciou a expansão grega para Oriente, conquistando a Pérsia e chegando à Índia. Quando morreu em 323ac toda a região que é o próximo Oriente estava toda sob domínio grego. A consequência das suas campanhas foi o avanço da civilização grega pelo Oriente; o Egito, a Mesopotâmia e uma parte da Índia foram helenizadas. Deste modo, a cultura grega, neste caso particular as ciências gregas, levada para novos ambientes culturais além de se afirmar, sofreu influências muito férteis dessas novas culturas. Talvez por isso, após a expansão helenística assiste-se ao período de apogeu da Matemática e Astronomia gregas que ocorreu no Egito, uma das províncias do Império de Alexandre e que após a sua morte passa a ser governada por um dos seus generais. Na época o Egito ocupava um lugar central no mundo mediterrânico, era ponto de passagem obrigatório entre o Oriente e o Ocidente. Alexandria, a nova capital egípcia, construída no litoral, rapidamente se constituiu como o centro intelectual e económico do mundo helenístico.

As obras de construção da cidade que Alexandre dedicou á memória do seu nome iniciaram-se em 332 e duraram muito tempo. O lugar foi escolhido com um cuidado extremo: próxima do delta do Nilo, a cidade aproveitaria simultaneamente os benefícios de estar junto da terra fértil e o facto de ser um entreposto comercial. Embora a estrutura sócio-política tradicional do Egito antigo se tenha mantido, uma forma de assegurar a herança dessa civilização milenar, na cidade de Alexandria a população grega seria predominante, o que garantiu num contexto cosmopolita a dimensão cultural helénica. Não houve, portanto, uma helenização do país, mantendo-se como única excepção a cidade de Alexandria para a qual se atraíram os intelectuais gregos da época, afirmando-a, deste modo, como a capital cultural do mundo helénico.

Após a morte de Alexandre, o Egito passará a ser governado por um dos seus generais Ptolomeu. Em 297 ac, um filósofo peripatético, Demétrio, que por razões políticas se refugiara em Alexandria, mercê das suas relações próximas do rei teve a ideia de fundar na cidade um Liceu mas de dimensões muito superiores. É daqui que nasce a célebre Biblioteca e o Museu (cujo significado deriva de

instituição consagrada às musas, protectoras das actividades intelectuais). O Museu consagrava-se, sobretudo, ao estudo da medicina, biologia e astronomia enquanto a Biblioteca reunia toda a produção literária grega, conservando cópias das obras mais importantes do pensamento grego, chegou a conter cerca de setecentas mil obras, constituindo o repositório de livros mais importante de toda a antiguidade. A Biblioteca de Alexandria era o centro da vida científica do mundo helénico e teve como terceiro bibliotecário, Eratóstenes, importante geómetra e geógrafo, um dos primeiros matemáticos a determinar o raio do nosso planeta. Destacamos, entre outras, como figuras importantes deste período: Euclides (325-?), Arquimedes (287-212), Eratóstenes (276-194), Apolónio (262-190), Herão (10-75) e Ptolomeu (85-165).

**2. (EUCLIDES)** A primeira citação explícita sobre Euclides (325-??) aparece num prefácio de Apolónio (262-190AC) que estudou com os discípulos daquele e que escreveu uma obra, *As Cónicas*, onde o grande geómetra de Alexandria é citado. Contudo poucas informações há sobre a sua vida, é Proclus (411-485 DC), um dos últimos filósofos atenienses, que apresenta algumas referências ao período em que terá vivido essa grande figura da matemática grega. Outras informações indicam que Euclides teria nascido em Megara, mas esta personagem, um filósofo e não um matemático, terá vivido cem anos antes do seu homónimo de Alexandria. Assim alguns autores inclinam-se para admitir: a) Euclides seria o mestre de uma escola de matemáticos de Alexandria e que estes, colectivamente, teriam contribuído, após a morte do seu mentor, para a escrita da obra que, postumamente, lhe será atribuída; b) Euclides não foi uma personagem histórica, nunca terá existido, a sua obra seria da responsabilidade de outros matemáticos de Alexandria que utilizaram o nome de Euclides (o de Megara) para assinar os seus trabalhos.

Euclides escreveu os célebres *Elementos*, os *Dados*, uma espécie de complementos dos Elementos, e a *Óptica*.

Os Elementos compreendem 13 livros divididos do seguinte modo:

1º-geometria plana (estudo de figuras poligonais ou circulares) nos quatro primeiros livros;

2º- sobre relações e proporções, livro V e VI, tratando este último da aplicação das relações e proporções à geometria plana;

3º- teoria dos números inteiros, livros VII, VIII e IX;

4º- estudo dos irracionais algébricos mais simples, livro X;

5º- geometria no espaço, livros XI, XII e XIII.

O primeiro livro abre com uma lista de 23 definições (por exemplo, «um ponto é aquilo que não tem partes»). A seguir às definições, Euclides apresenta uma lista de cinco postulados (o primeiro afirma que por dois pontos passa uma recta) e cinco noções comuns (por exemplo, «se a iguais se juntarem iguais, obtêm-se iguais» ou «o todo é maior que as partes»). Na geometria de Euclides os axiomas representam qualquer coisa aceite como óbvio e são designadas por noções comuns, não contemplam as propriedades geométricas, daí que se distingam dos postulados. Os axiomas são assunções gerais que permitem aplicar o método dedutivo, por exemplo, «entidades iguais a uma entidade são iguais entre si».

O enunciado original do célebre quinto postulado de Euclides é o seguinte: «Se uma recta intersectar duas rectas, tal que a soma dos ângulos interiores do mesmo lado seja mais pequena que dois ângulos rectos essas rectas prolongadas até ao infinito encontrar-se-ão segundo um ângulo que é mais pequeno que dois ângulos rectos». É no século XVIII que J. Playfair lhe dá a forma despojada pela qual é actualmente conhecido: «Por um ponto de um plano só se pode traçar uma e uma só paralela a uma recta dada»<sup>22</sup>.

Os *Elementos* de Euclides, além de ser a obra maior da matemática grega que chegou até aos nossos dias, foi também aquela que maior influência exerceu nos matemáticos de todos os tempos. A primeira versão impressa apareceu em Veneza no ano de 1482.

**3. (ARQUIMEDES)** Alguns autores consideram Arquimedes (287-212), cidadão de Siracusa, cidade grega situada na Sicília, como o maior matemático grego do período helenístico<sup>23</sup>. Ao contrário de Euclides, e de muitas outras figuras gregas, ele não é um mero nome, mas uma personagem com uma vida conhecida e sobre a qual há vários relatos históricos. Alguns autores referem que, enquanto jovem, terá visitado o Egipto, Alexandria, onde teria estudado com discípulos de Euclides. Esta conjectura poderá ser verdadeira, não só por sabermos que estava completamente familiarizado

---

<sup>22</sup> TATON, R.(coord.), p.322 (vol.I)

<sup>23</sup> STRUIK, D. p. 93

com a matemática que aí se desenvolvera, como também pelo facto de conhecer pessoalmente matemáticos dessa cidade a quem enviava os seus resultados acompanhados de mensagens pessoais.

Alem dos seus trabalhos como matemático, ficou também célebre pelas suas invenções mecânicas. Parece que data da sua estada no Egipto a invenção do sistema elevatório de água conhecido como o parafuso de Arquimedes. Esta sua reputação, enquanto inventor de máquinas, deveu-se à criação de engenhos de guerra que intervieram de uma forma efectiva na defesa da cidade quando assediada pelas hostes romanas capitaneadas por Marcelo e que a conquistaram em 212 ac. É a Plutarco que se deve o relato do papel desempenhado por Arquimedes e pelos seus engenhos em relação à armada sitiante quando, no ano 75 dc, escreve a vida de *Marcelo*..

A lista das obras de Arquimedes que chegaram até nós são as seguintes: *Sobre o equilíbrio dos planos* (dois livros), *A quadratura da parábola*, *Sobre a esfera e o cilindro* (dois livros), *Sobre as Espirais*, *Sobre Conóides e esferóides*, *Sobre os Corpos flutuantes* (dois livros), *Medição do círculo*; carta a Eratóstenes sobre o *Método*.

Citação: «As mais importantes contribuições de Arquimedes na matemática foram feitas no domínio daquilo a que agora chamamos "cálculo integral"- teoremas sobre áreas de figuras planas e sobre volumes de corpos sólidos. Na *Medição do círculo* encontrou uma aproximação da circunferência do círculo pelo uso de polígonos regulares inscritos e circunscritos. Levando esta aproximação a um polígono de 96 lados, encontrou (...) o que é usualmente expresso dizendo que  $\pi$  é aproximadamente igual a  $3\frac{1}{7}$  »<sup>24</sup>.

Na sua obra *Sobre o equilíbrio dos planos* Arquimedes estabeleceu, de uma forma geométrica rigorosa, a lei de equilíbrio das alavancas bem como a determinação dos centros de massa de diversas figuras geométricas planas. Evidentemente que a alavanca já deveria ser usada desde tempos imemoriais, Aristóteles já tratara a sua lei de equilíbrio, contudo é a Arquimedes que se deve esta demonstração em termos matemáticos. Aristóteles já dissera que dois pesos, quando colocados numa alavanca, cujos valores variam na razão inversa da sua distância ao fulcro, equilibram-se, e associava esta lei à assunção que o movimento vertical rectilíneo era o único

---

<sup>24</sup> STRUIK, D. p. 93



movimento natural na Terra. Assim, extremidades de braços desiguais de uma alavanca descreveriam arcos de circunferência em torno do seu fulcro, logo o braço maior descreveria um arco maior cuja trajectória estaria mais próxima do movimento rectilíneo vertical do que a do braço menor. Contrariamente a este argumento «cinemático», Arquimedes deduz a condição de equilíbrio partindo do postulado que corpos «simétricos bilateralmente estão em equilíbrio»<sup>25</sup>.

Na obra *Sobre os Corpos flutuantes*, também partindo de um raciocínio matemático, estabelecendo postulados, apresenta vários resultados importantes como é o caso do célebre princípio: «Qualquer sólido mais leve que um fluido, quando colocado no interior deste, ficará imerso de modo a que o peso do sólido seja igual ao do fluido deslocado» e « Um sólido mais pesado que um fluido, quando colocado no interior deste, descerá até ao fundo do fluido, e o sólido quando pesado no interior do fluido ficará mais leve que o seu peso verdadeiro pela diferença do peso do fluido deslocado»<sup>26</sup>. Nesta obra apresenta diversos resultados sobre as posições de corpos com diferentes geometrias quando colocados num líquido.

Em *O Método*, Arquimedes apresentou, na forma de carta enviada a Eratóstenes, bibliotecário de Alexandria, o modo como trata a «mecânica» e como alcançou a prova de alguns teoremas, sobretudo de matérias relacionadas com o equilíbrio dos corpos. Pode afirmar-se que «em geral não aplica as matemáticas á técnica; bem ao contrário, a técnica é inspiradora dos seus trabalhos teóricos»<sup>27</sup>. Esta obra foi descoberta já no princípio do século XX<sup>28</sup>.

Aparte o seu trabalho matemático, Arquimedes ficou famoso pelas suas arrojadas invenções mecânicas usadas em tempos de paz, por exemplo associações de roldanas que permitiam que a força de um homem arrastasse para terra barcos muito pesados, como também passaram à posteridade as suas máquinas de guerra (eg. poderosas catapultas que lançavam pesadíssimos projecteis sobre a armada romana). Plutarco escreveu: «Foi tal a grandeza de alma de Arquimedes, a profundidade do seu génio, o tesouro inesgotável dos seus conhecimentos científicos, que não quis deixar nenhum escrito ou comentário sobre as coisas que fizeram a sua celebridade e que fizeram ser olhado como dotado de uma inteligência sobre-humana e quase divina. A

---

<sup>25</sup> BOYER, C., p121.

<sup>26</sup> BOYER, C., p121.

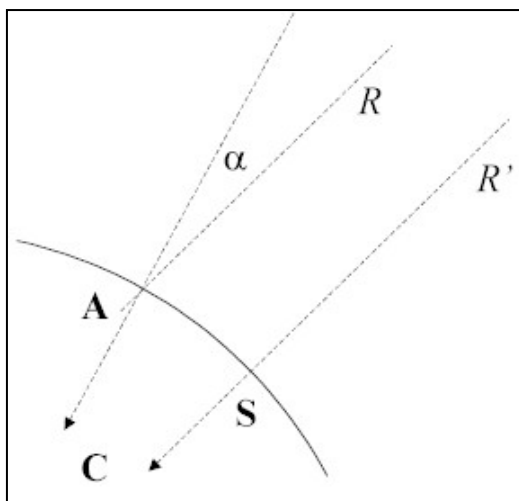
<sup>27</sup> TATON, R.(vol. I), p.328.

<sup>28</sup> BOYER, C., p137.

construção das máquinas, qualquer arte que servisse para as necessidades da vida não eram para ele senão coisas sem nobreza e tarefas vis. Pôs toda a sua dedicação no estudo dos objectos cuja beleza e excelência não estão de modo algum misturados com qualquer necessidade e com os quais não podemos comparar qualquer outro: ciência onde a demonstração rivaliza com o sujeito, fornecendo este grandeza e beleza; aquele, exactidão e poder natural»<sup>29</sup>.

Arquimedes é morto por um soldado romano após a tomada de Siracusa pelos exércitos de Marcelo...

**4. (ERATÓSTENES)** Nascido em Cirene, no norte de África, actualmente Líbia, **Eratóstenes** (276-194) passou os seus primeiros anos de estudo em Atenas. Tornou-se conhecido em vários domínios, tanto na matemática e astronomia, como na poesia e história. Por volta do ano de 240 ac, é chamado par preceptor do filho do rei do Egipto, sendo também nomeado bibliotecário, o terceiro após a fundação, da Biblioteca de Alexandria. É a Eratóstenes que Arquimedes endereça o seu tratado sobre o *Método*. Contudo o feito pelo qual é mais conhecido diz respeito à determinação do raio da Terra.



Conta-se que ao vaguear pelo mercado, Eratóstenes terá ouvido a um mercador o seguinte comentário, «aqui ainda se encontra uma sombra, mas, na minha terra há dias do ano em que o calor é tanto que, nem no fundo de um poço, há sombra que nos proteja», e indagando sobre essa tal terra, o bibliotecário de Alexandria constatou ser Siena (Assuão). Será esta a razão pela qual estas duas terras, situadas no mesmo meridiano, foram palco

das medições do matemático. A sua distância era conhecida e a sua diferença de latitude era facilmente calculável, pois no solstício de Verão o Sol incidia a pique sobre os poços de Siena, a cidade encontra-se sobre o trópico do hemisfério Norte. Bastava então medir com precisão, em Alexandria e à mesma hora, o ângulo formado pela sombra de

<sup>29</sup> SERRES, M, (vol.I), p144.

uma vara e a extremidade da mesma. Este ângulo que é  $(90-\alpha)$  e o ângulo ACS é iguala a  $\alpha$ . Eratóstenes mediu,  $\alpha = 1/50$  do círculo, como a distância era 5000 estádios, concluiu que o perímetro da circunferência que representaria a Terra seria 250000 estádios. Como Eratóstenes se serviu da unidade de medida egípcia que vale aproximadamente 157,5m, o raio da Terra aparece com o valor 6270km... Evidentemente que a correcção da medida depende da conversão de unidades, outros autores sugerem como factor de conversão da época o valor de 166,7m, mesmo assim a aproximação é notável.

Eratóstenes, usando os dados de um eclipse lunar determinou a distância da Terra á Lua (780000 estádios) e da Terra ao Sol (804000000estádios).

**4. (APOLÓNIO)** De **Apolónio** (262-190) pouco se sabe sobre a sua vida contudo a obra famosa que nos deixou, as *Cónicas*, introduziram o tratamento geral do tema sobre as curvas, hoje conhecidas como a elipse, a parábola e a hipérbole. Nascido em Perga, na Jónia (actualmente Murtina, na Turquia) foi muito novo para Alexandria onde estudou com os discípulos de escola de Euclides, vindo mais tarde a ser um dos professores dessa escola. Apolónio terá também estado em Pérgamo (actualmente Bergamo na província de Izmiir na Turquia) onde existia uma escola e uma biblioteca muito parecidas com a de Alexandria. A maior parte da informação que se conhece sobre a sua vida consta no prefácio da sua obra que é composta por oito livros, dos quais, no Grego original, só sobreviveram os primeiros quatro, contudo os primeiros sete livros são conhecidos através da sua versão árabe.

No Livro I Apolónio explica as motivações que o levaram a escrever a sua obra e nos quatro primeiros livros apresenta uma revisão do que já fora feito sobre as cónicas por Euclides, todavia no Livro III escreve expressamente que alguns teoremas apresentados são seus. Nos restantes livros, do V em diante, apresenta o seu trabalho original. É a ele que se deve muitos desenvolvimentos gerais que hoje utilizamos, por exemplo: a) um cone não tem que ter o seu eixo obrigatoriamente perpendicular; b) a secção feita por um plano num qualquer tipo de cone permite obter uma cónica; c) a generalização de cone para a de superfície cónica com duas folhas....

Citação: «Os métodos utilizados por Apolónio nas Cónicas são, em muitos aspectos, similares aos utilizados modernamente, sendo considerados como uma

antecipação de 1800 anos em relação à geometria analítica de Descartes. A aplicação de linhas de referência gerais, do diâmetro e da tangente como seus extremos, não é, certamente, uma diferença essencial em relação ao sistema de coordenadas quer fosse rectangular ou, mais geral, oblíquo. Distâncias medidas ao longo do diâmetro a partir do ponto de tangência são as abcissas, e segmentos paralelos à tangente e interceptados entre o eixo e a curva são as ordenadas.»<sup>30</sup>.

Apolónio foi também um importante fundador da astronomia matemática grega, onde utilizou modelos geométricos para explicar os movimentos planetários observados. Segundo Ptolomeu, Apolónio introduziu o sistema de movimentos segundo o excêntrico e o epiciclo para explicar o movimento aparente dos planetas no céu. Sabe-se que os epiciclos são anteriores a Apolónio, mas este terá feito algumas contribuições que permitiram melhorar os cálculos geométricos, estudando em particular os pontos estacionários das trajectórias planetárias, sobretudo aqueles em que se davam inversões do movimento.

Planetas	Número de esferas (Eudoxo)	Número de esferas (Calipo)	Número de esferas (Aristóteles)
Saturno	4	4	7
Júpiter	4	4	7
Marte	4	5	9
Vénus	4	5	9
Mercúrio	4	5	9
Sol	3	5	9
Lua	3	5	5
TOTAL	26	33	55

**5. (HERÃO)** Provavelmente nascido em Alexandria já na era cristã (10-75), poucas certezas há quanto à sua vida. Dos seus textos é razoável deduzir que ensinou no museu em Alexandria e que se interessou por matemática, pneumática e mecânica. Enquanto matemático escreveu vários livros:

-*Metrica* onde apresenta o cálculo de áreas de triângulos e diversos polígonos regulares e onde aparece a célebre fórmula para ao cálculo da área do triângulo<sup>31</sup> em

<sup>30</sup> Boyer, C., p156.

<sup>31</sup> Ibid. p.172.

função dos seus lados  $a$ ,  $b$  e  $c$ ,  $A^2 = s(s-a)(s-b)(s-c)$  em que  $s = (a+b+c)/2$ ; nesta obra a preocupação não é apresentar muitas demonstrações (a da fórmula anterior é feita), ou um rigor lógico-deductivo, mas dar muitos exemplos numéricos, isto é, há uma preocupação de aplicação prática, o que era apanágio da matemática anterior aos Gregos, como a dos Babilónios;

- *Pneumatica*, onde são apresentadas algumas considerações sobre a pressão dos fluidos, uma parte desta teoria está errada; apresentando-se em seguida a descrição do funcionamento de uma série de aparelhos, para cima de cem, como por exemplo o jarro mágico ou a sua «máquina a vapor»...

- *Mechanica*, onde são descritas máquinas simples, compostas por alavancas e roldanas, com ideias muito semelhantes às de Arquimedes; formas engenhosas de elevar corpos muito pesados.

Construiu um aparelho designado por «Dioptra» que servia para medir ângulos, obter nivelações e calcular distâncias entre pontos muito distantes. Este aparelho é o «primeiro instrumento universal de medida, que foi durante muitos séculos o mais perfeito instrumento para nivelamentos, usado como teodolito em observações terrestres e astronómicas»<sup>32</sup>.

---

Heron, além de matemático, parece ter sido um engenheiro e um inventor; elaborou a teoria dos diversos tipos de máquinas: a sua fabricação, o seu funcionamento, as suas regras de emprego com «clareza e precisão suficientes, nos pormenores de construção, para que sirvam à prática dos mestres interessados»<sup>33</sup>.

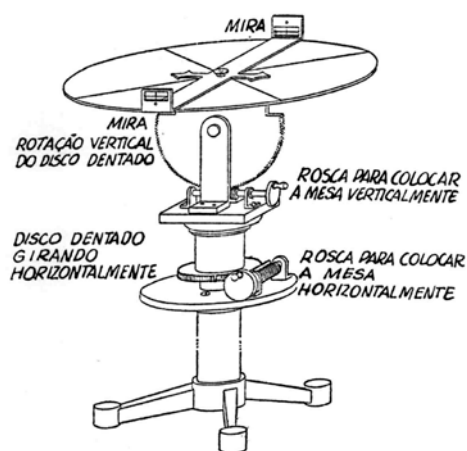
Sobre as limitações da aplicação do génio inventivo técnico dos gregos, do qual Herão é talvez o caso mais saliente, citamos: «Uma tal habilidade técnica, articula à pesquisa dos princípios gerais e das regras matemáticas, que possibilitam, quando possível, calcular a construção e o emprego de engenhos, deu azo a uma série de invenções notáveis (...) Todavia não actuou sobre o sistema tecnológico da Antiguidade para o transformar (...) as máquinas descritas pelos engenheiros sejam efectivamente de fins utilitários, empregam-se e concebem-se nos moldes de instrumentos que multiplicam a força humana, à qual recorrem, a despeito da sua complexidade, como ao

---

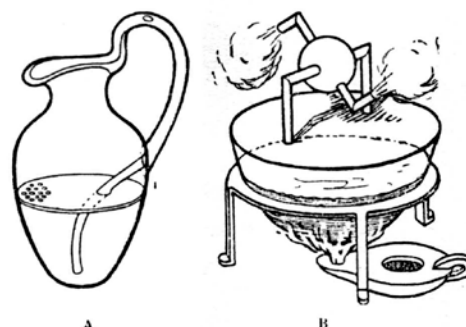
<sup>32</sup> Maurice Daumas (Direcção de), 1966, *As Ciências (Enciclopédia da Pléiade)*, Lisboa, Editora Arcádia Limitada (versão portuguesa, sob a orientação de Luís Albuquerque), p.298.

<sup>33</sup> Jean-Pierre Vernant, *Formas e limites do pensamento técnico grego*, In V. de Magalhães Vilhena (dir.), *Panorama do Pensamento Filosófico* (vol.II), Lisboa, Edições Cosmos, 1958, p.414.

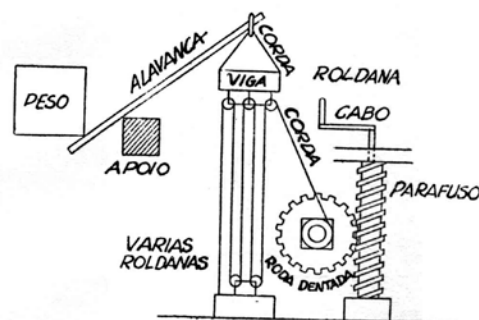
único princípio motor (...) Quando se socorrem de outras fontes de energia e quando, em vez de aumentar uma força determinada ao começo, funcionam desenvolvendo automaticamente o seu movimento próprio, trata-se neste caso de uma produção que se situa, de conformidade com uma tradição inteira de objectos maravilhosos, à margem do campo propriamente técnico (...)»<sup>34</sup>.



O aparelho chamado «Dioptra» de Héron para medir ângulos assim como para nivelar, calculando alturas ou distâncias entre dois pontos distantes, etc. A mesa ou prato circular que está graduada, tem duas miras, com mobilidade no centro e assentes num braço rígido. A mesa ou prato tem como suporte uma coluna que gira sobre o seu eixo por meio de uma rosca que funciona sobre um disco dentado. A mesa assenta directamente sobre um segundo disco em roda dentada, o qual pode girar num plano vertical por meio de uma segunda rosca, ou parafuso, fixada na coluna.



A) O jarro mágico de Héron. Consegue-se verter o líquido do jarro conforme a pressão exercida com o dedo polegar sobre o orifício da asa do jarro. B) A «máquina a vapor» de Héron. O globo é colocado sobre um eixo de tubos, dois dos quais estão submergidos na caldeira, e gira pela força da pressão do vapor que é expelido através dos outros dois tubos que estão fora da caldeira em contacto com o ar. (Cf. W. SCHMIDT, *Heronis Opera omnia*, Leipzig)



Engenho mecânico de Héron  
(Cf. W. SCHMIDT, *Heronis Opera omnia*, Leipzig)

Figuras retiradas de V. de Magalhães Vilhena (dir.), 1958 *Panorama do Pensamento Filosófico* (vol.II), Lisboa, Edições Cosmos.

<sup>34</sup> Ibid. p.415.

## Notas sobre a Vida e Obra de Galileu

### 1. Da juventude até ao período paduano

Galileu Galilei, filho de Vincenzo Galilei nasceu em Pisa a 15 de fevereiro de 1564. Galileu que com 17 anos matriculara-se na Universidade de Pisa em 1581, abandonou-a, sem alcançar qualquer grau académico, no ano de 1585: assistiu a aulas diversas e interessou-se sobretudo pela Matemática...

O seu primeiro tratado científico original foi escrito em 1586, aos 22 anos, tratava da balança hidrostática, e a sua exposição manifesta preocupações de âmbito teórico e prático, sendo evidente a influência de Arquimedes. É nessa mesma época, no ano de 1592, que produz um manuscrito intitulado *De Motu* ( O Movimento) onde, tal como o título sugere, dá conta dos seus estudos sobre o movimento; o estudo é feito numa perspectiva aristotélica, não se coibindo, contudo, em alguns capítulos de lançar várias críticas à doutrina de Aristóteles. Situa-se nesta época a célebre lenda do estudo da queda dos corpos com base em lançamentos que o sábio pisano teria feito do alto da torre inclinada de Pisa, uma lenda posta a circular por um discípulo seu após a sua morte. Esta obra pode ser considerada como a primeira reflexão sobre um tema a que retornará em diversos momentos da sua vida e que terminará por ser uma das suas contribuições mais importante na Física: a obra publicada em 1638, quatro anos antes da sua morte, sob o título *Discorsi e Dimostrazioni Matematiche, intorno à due nuove scienze attenenti alla Meccanica ed i Movimenti Locali*, e que constitui o primeiro tratado moderno sobre cinemática.

Em finais de 1587, Galileu já tinha descoberto uma abordagem engenhosa e prática para conseguir determinar os centros de gravidade de certos sólidos, conclusões que constituíram um avanço sobre o que Arquimedes já fizera. A qualidade deste trabalho granjeou-lhe, pela primeira vez, a consideração dos meios cultos. A importância das suas descobertas foram um estímulo suficiente para que participasse em dois acontecimentos relevantes: primeiro, candidata-se a uma cátedra de Matemática na Universidade de Bolonha, sendo preterido no concurso em favor de um matemático Paduano com maior obra publicada (Magini); segundo, trava conhecimento, em Roma, com o matemático e astrónomo jesuíta, Clavius<sup>1</sup>.

Em 1588, já reconhecidos os seus méritos matemáticos pelos círculos florentinos, a Academia Florentina convida-o a expor sobre uma questão importante na época: a topografia do Inferno descrito na obra de Dante. Na Divina Comédia Dante compusera poeticamente o Inferno, introduzindo habilmente o conhecimento científico que lhe era contemporâneo; os homens do renascimento comentavam esta obra e, demonstrando os interesses dos novos tempos, privilegiavam os comentários geográficos e topográficos às reflexões metafísicas sobre o castigo. Galileu, um cultor interessado da ciência e da poesia, dá duas conferências intituladas *Due lezioni all' Accademia Fiorentina circa la figura, sito e grandezza dell' Inferno de Dante*, em que, alternando a poesia dantesca com os cálculos geométricos arquimedianos, apresenta o seu desenho geográfico do braseiro celestial onde todos os homens expiariam os seus crimes.

---

<sup>1</sup> Cristovão Clavius entrou para a ordem dos Jesuítas em 1555 e estudou na Universidade de Coimbra, posteriormente foi para Roma, onde no Colégio Romano da ordem se formou em Teologia, passando depois, e até ao fim dos seus dias, a ser o professor de matemática desta escola da ordem.

Esta preocupação de uma interpretação geográfica do universo poético de Dante mostra como as grandes descobertas geográficas do mundo de então começaram a revelar aos olhos dos mareantes, geógrafos e cosmógrafos uma realidade muito diferente da que ensinavam os antigos. Era, portanto, natural que muitos espíritos se questionassem: «*Acaso não descobriu Américo Vesputio, neste nosso tempo, terras desconhecidas de Ptolomen e Plínio e de outros antigos cosmógrafos? Por que não há-de, pois, acontecer o mesmo noutros ramos do conhecimento?*»<sup>2</sup>. A importância das navegações na criação deste novo espírito é aproveitada pelo próprio Brecht para parametrizar o quadro da revolução científica do séc. XVII, quando, na primeira grande tirada de Galileu, coloca na sua boca as palavras: «(Galileu) *Gosto de pensar que as coisas começaram com os navios. Desde tempos imemoráveis navegam sempre junto à costa, mas de súbito fizeram-se ao largo e sulcaram todos os mares. No nosso velho continente surgiu o boato: há novos continentes (...)*»<sup>3</sup>.

Em 1589 é entregue a Galileu a cátedra de matemática da Universidade de Pisa, lugar bastante mal pago que abandona em 1592 para ocupar a mesma cátedra da Universidade de Pádua, onde passa a auferir um salário três vezes superior ao que ganhava em Pisa. Esta universidade, bastante afamada na Europa pelo seu ensino de medicina, nela tinha ensinado Vesálio<sup>4</sup> e estudado Harvey<sup>5</sup>, beneficiava das condições que lhe podia proporcionar o governo bastante mais liberal da República de Veneza que ultrapassava em tolerância todos os outros estados italianos.

Em 1592 inicia-se o que, na biografia de Galileu, é hábito chamar como o período paduano, o período de amadurecimento dos dois grandes projectos científicos galileianos: a ciência geometrizada do movimento e a sustentação pela observação do sistema copernicano.

É a partir de 1602-1604 que retoma o estudo da geometrização do movimento e, apesar de não ter publicado nada neste período, há documentos epistolares que provam que Galileu, já entre 1602 e 1610, elaborara o essencial daquilo que, após a sua condenação em 1633, viria a expor nos *Discorsi*.

Em Pádua a actividade de Galileu foi sobretudo ocupada com a solução de problemas técnicos da Mecânica, bem como com as suas aplicações práticas: em 1593, inventou uma bomba para fazer subir a água e escreveu um trabalho sobre fortificações; em 1597 construiu um compasso geométrico e militar do qual produz muitas cópias, editando um folheto em italiano para explicar o seu uso e utilidade. Galileu montou uma oficina na sua casa e onde, com o auxílio de um operário, fabricou instrumentos variados: o dito compasso, quadrantes, bússolas e, mais tarde, lentes e as famosas lunetas...

Esta faceta de artesão de Galileu é reveladora de um dos aspectos mais importantes da revolução científica do séc. XVII, uma característica marcante da *praxis* anti-aristotélica. Aristóteles, e os filósofos gregos em geral, nada tinha contra o conhecimento prático, a que chamava *techne*; só não o consideravam do mesmo tipo do

<sup>2</sup> MAIR, John, Paris, 1516, In J. Silva Dias, 1982, *Os Descobrimentos Portugueses e a Problemática Cultural do Século XVI*, Lisboa, Editorial Presença. p.136

<sup>3</sup> BRECHT, Bertold, 1970, *Vida de Galileu*, trad.Yvette Centeno, Lisboa, Portugal Editora. p.12

<sup>4</sup> (1514-1564), ilustre anatomista, um dos primeiros médicos a dissecar o corpo humano, autor da *De corporis humana fabrica*.

<sup>5</sup> (1578-1657), médico inglês que descobriu a circulação sanguínea, autor da *Exercitatio anatomica de motu cordis et sanguinis in animalibus*.



conhecimento científico a que chamavam *episteme*. Para os gregos, a diferença entre estes dois tipos de conhecimento não estava na diferença entre teoria e prática, mas, sim, na distinção entre as origens e os objectivos do conhecimento. Para o primeiro, a prática, interessava saber o «como fazer», um processo sujeito à descoberta pelo uso, enquanto que o segundo, a teoria, dizia respeito exclusivamente à razão ou à compreensão das coisas, sugeridas pela observação, através do conhecimento das suas causas, ou seja o entendimento dos «porquê». Um dos aspectos bastante inovador em relação ao legado da «observação» grega, uma observação que assentava na acção directa e despojada dos órgãos dos sentidos, residia, agora, no facto de ultrapassar o observar, passou-se a «experimentar», o que significava interrogar a natureza de um modo diferente. E este modo de inquirição implica a utilização de instrumentos de medida que, contrariamente ao que até aí acontecia, prolongavam a capacidade do homem em medir para lá do que era permitido pelos seus órgãos dos sentidos: qual o olho humano que, nas noites escuras de lua nova, poderia observar as fases de Vénus ou a presença de Ganimedes? Quem respondia ao observado não eram os órgãos dos sentidos, mas os aparelhos de registo... O perscrutar para lá da percepção sensorial da natureza, permitia compor novos quadros mentais sobre o comportamento da natureza; experimentar é também confiar na imaginação e, de uma forma unicamente mental, produzir resultados à custa de experiências imaginadas tal como Galileu proporá nos seus Diálogos.

A Revolução científica no séc. XVII vai recorrer a este novo processo de interrogar a natureza para encontrar as leis que governam os fenómenos sem se preocupar com as «causas». Galileu preocupar-se-á com a lei da queda dos graves, não com a causa da dita queda e, neste processo, intervém o artesão, concebendo novos modos de medir o tempo, e o matemático que exprime os resultados por relações numericamente rigorosas.

Segundo alguns autores, o período cientificamente mais criativo de Galileu encerra-se com a descoberta que maior fama e reconhecimento lhe traria: a luneta astronómica<sup>6</sup>, ou de como o simples acto de levantar para os céus um óculo de ver à distância, após recriar toda a sua óptica, fez ruir o universo fechado de Aristóteles.

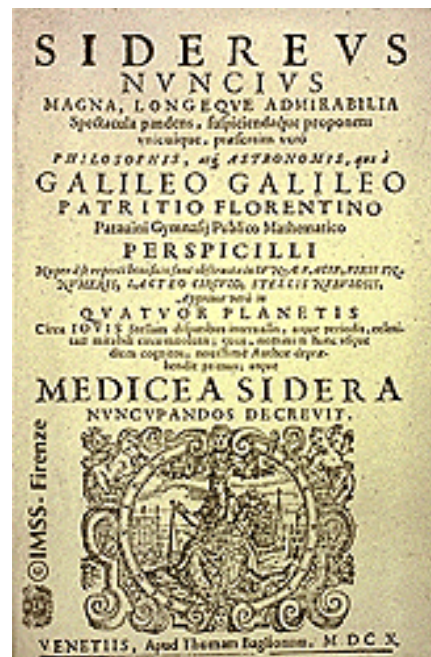
Durante o Verão de 1609, Galileu teve conhecimento de que um flamengo construíra um aparelho graças ao qual os objectos afastados podiam ser observados com muito maior nitidez. Segundo parece, é Sarpi, um amigo de Galileu, quem lhe confirmou a existência do óculo, e é também ele que sugeriu ao governo da República a compra do óculo que Galileu construíra na sua oficina e que seria três vezes mais poderoso do que os seus rivais. Tanto quanto se sabe o verdadeiro motivo da construção do óculo feito por Galileu residia efectivamente na necessidade de obter da parte dos seus empregadores um melhor salário. Isto é, os venezianos sabiam perfeitamente que Galileu não inventara nada, o seu amigo Sarpi tê-los-ia persuadido, por motivos de amizade e de ajuda financeira, a comprarem o óculo de maior alcance ao professor de Pádua, melhorando assim os seus réditos. Este facto, onde em algumas crónicas se apresenta um Galileu vangloriando-se de uma descoberta que não lhe pertencia, sugere algumas acusações de plagiador que, muitas vezes de um modo pouco claro, lhe são dirigidas.

---

<sup>6</sup> MARICONDA, P.R, 1988, *Prefácio*, in Galileu Galilei, *Dois Novas Ciências*, São Paulo, Nova Stella Editorial, p.XIV.

Não houve plágio algum na questão do óculo, de qualquer modo um episódio existe, ligado à prática científica de Galileu em Pádua, onde este é acusado de se ter apropriado de ideias de outros, mas que nada tem a ver com o óculo. O folheto sobre o uso do compasso militar foi impresso em italiano em 1606 e, no início de 1607, Baldassar Capra (antigo discípulo do pai de Galileu) publicou um plágio deste livro em latim. Este autor sugeria que a ideia lhe tinha sido roubada. Galileu recorreu aos testemunhos de Sarpi e de outros que tinham sido seus alunos e que declararam que o ensino deste instrumento datava de 1597, época em que o instrumento já era fabricado por Galileu. As cópias das instruções manuscritas pelo próprio Galileu foram exibidas e este intentou uma acção conta Capra através dos dirigentes da Universidade, cujo resultado foi a expulsão do plagiador e a confiscação do livro que publicara. Este incidente deixou marcas em Galileu, obrigou-o a ser menos liberal na forma como facultava as informações sobre as suas descobertas e mais céptico quanto à boa fé dos seus rivais. Sobre este episódio escreveu Drake: «*E apesar de publicar um relatório sobre o assunto, o simples facto de ter sido acusado de roubar uma invenção foi usado, mais tarde, pelos seus adversários para lançar suspeitas no assunto mais importante que era o uso astronómico do telescópio*»<sup>7</sup>.

Galileu continuou a aperfeiçoar o óculo, aumentado a sua potência, pois o seu objectivo era olhar os céus e em Março de 1610 publicou os resultados das suas observações astronómicas na obra *Sidereus Nuncius* (O Mensageiro das Estrelas). Nesta obra, Galileu descreve: -o carácter montanhoso da Lua, o que corresponde a uma clara prova observacional contra a tese aristotélica que defendia a incorruptibilidade dos céus; mostra a existência de inúmeras estrelas e das enormes distâncias entre elas; -anuncia a descoberta dos quatro satélites de Júpiter, o que permitia, por analogia, dar plausibilidade observacional à hipótese copernicana de que a Terra e a Lua giravam em redor do Sol, tal como acontece com Júpiter e os seus quatro satélites. Galileu supôs que a observação dos satélites de Júpiter poderia permitir uma aplicação prática muito importante: a determinação da longitude de um navio no mar alto. Quer o governo espanhol quer o governo holandês ofereciam na época um excelente prémio pecuniário a quem resolvesse o problema da determinação da longitude e o sábio pisano tentou, em vão, ganhá-lo. Mesmo depois da sua condenação, em 1633, Galileu continuará a manter negociações sobre a utilização das suas descobertas para a determinação da longitude<sup>8</sup>...



<sup>7</sup> DRAKE, S, 1981, *Galileu*, Lisboa, Publicações Dom Quixote, p. 71

<sup>8</sup> «As viagens marítimas de longo curso vieram levantar a necessidade de determinar esta coordenada geográfica. Na Holanda oferecia-se um prémio de 25000 florins a quem indicasse um método, susceptível de ser utilizado na navegação, para a determinação do meridiano. E Galileu procurou afanosamente esse método, informando-se de outros métodos existentes que poderiam concorrer com o seu. Escreve Joaquim de Carvalho: «Entre estes conta-se, pelo menos, o que Francesco Stelluti lhe comunicou por carta a 2 de Dezembro de 1628,

As descobertas anunciadas no *Sidereus Nuncius* excitaram a curiosidade de todos os espíritos cultos da Europa, trazendo ao seu autor notoriedade e reconhecimento, e garantiram-lhe também o seu regresso a Florença, ao serviço do Grão Duque Cosimo de Medicis.

Sem nunca se casar oficialmente, em finais dos anos noventa Galileu teve uma ligação com uma veneziana da qual nasceram três filhos: as duas filhas nasceram em 1600 e 1602 e o filho em 1606. Uma ligação que durou até à sua ida para Florença pois Maria Gambina, assim se chamava a sua companheira, não o acompanhou na nova jornada.

## 2. O período florentino

Em 1611, já em Florença, começa o que se pode chamar o grande período polémico da vida de Galileu. A excitação dos meios culturais europeus perante as revelações do astrónomo da corte dos Medicis assumiu duas faces: uns ficaram maravilhados pelas descobertas, outros acusaram-no de ser traído por ilusões de óptica e ridicularizaram as suas observações. Em Roma o Padre Clavius declarou julgar que todas as coisas vistas estavam nas lentes e não nos céus... Em Praga, o astrónomo do Sacro Império Romano, Kepler, escreveu de imediato uma longa *Discussão sobre o Mensageiro das Estrelas*, em que aceitava as descobertas como reais.

Em 23 de Março de 1611, Galileu fez a sua Segunda viagem a Roma, com o objectivo preciso de defender as suas observações astronómicas perante os seus opositores. A viagem foi coroada de sucesso, os quatro matemáticos do Sacro Colégio Romano, onde, entre eles, se encontrava Clavius, confirmaram a verdade das suas descobertas astronómicas. Foram quatro, os matemáticos jesuítas que assinaram formalmente este relatório: Clavius, Odo Maelcote, Christopher Grienberger e G.P. Lembo<sup>9</sup>. Isto é, doravante Galileu poderia contar com o apoio dos Jesuítas.

Em 1612 publica o resultado dos seus trabalhos sobre os corpos flutuantes, *Discorsi intorno alle cose che stanno in su l'acqua o che in quella si muovono*, onde alguns dos temas aqui tratados serão retomados mais tarde nos *Discorsi*. No ano seguinte, em 1613, saiu a sua obra *Istoria e Dimostrazione intorno alle Macchie Solari* que constitui uma polémica indirecta com um padre sobre a natureza do fenómeno das manchas solares. Galileu critica o princípio da incorruptibilidade dos céus e estabelece uma analogia entre os fenómenos solares e os terrestres, acabando por levantar a questão da hipótese copernicana. A partir desta data a sua actividade será condicionada sobretudo pela luta em prol da aceitação do sistema copernicano, actividade que cessará forçosamente com a sua condenação em 1633.

---

que "(...) un Padre Gesuita Portoghese haverá bora trovato un instrumento, come horivolo con polvere, da poter con esse osservare le longitudini delle citá et altri parti del mondo(...)"» (CARVALHO, Joaquim, 1943, *Galileu e a cultura portuguesa sua contemporânea*, BIBLOS, vol.XIX, 399-451); e o autor citado conclui «tenho por sem duvida que se trata de Cristovão Borri, ou Bruno». Poder-se-á dizer que o padre Borri foi o principal concorrente que Galileu encontrou, em Portugal, como candidato ao prémio da determinação da longitude.»(Fitas, A.J., 2000, *A revolução científica do século XVII E OS autores portugueses: introdução, difusão, inovação*, in Francisco Martins Ramos (coord.), Homenagem ao Professor Augusto da Silva, Évora, Universidade de Évora).

<sup>9</sup> Christoph Grienberger e Giovanni Paolo Lembo ensinaram em Lisboa na «aula da Esfera do Colégio de Santo Antão durante os períodos 1599-1602 e 1615-1617, respectivamente. (ALBUQUERQUE, Luís, 1972, *A «Aula de Esfera» do Colégio de Santo Antão no século XVII*, Anais da Academia Portuguesa de História, s.2,XXI, 335-391; BALDINI, Ugo, 2000, *L'insegnamento della matematica nel Collegio di S.Antão a Lisbonna, 1590-1640*, in Actas do Colóquio Internacional «A Companhia de Jesus e a Misssionação no Oriente, Lisboa, 275-310).

Em princípios de 1616 Galileu estava em Roma na tentativa de evitar a condenação da doutrina copernicana. Contudo a 5 de Março deste ano a Sagrada Congregação colocou no index dos livros proibidos todos aqueles que mencionassem o movimento da Terra e localização fixa do Sol, a interdição é o destino do *De Revolutionibus Orbium Caelestium*. Antes desta data, o cardeal Bellarmine, responsável pelas decisões do papado em matéria de fé, convocou Galileu pessoalmente para lhe dar a conhecer as deliberações da igreja, fazendo-lhe saber que a doutrina copernicana podia ser aceite a título de pura hipótese astronómica (este seria o objectivo de Copérnico). Esta teoria era considerada como um artifício matemático, destinado a «melhor explicar as aparências celestes», mas Galileu devia abster-se de «afirmar absolutamente» e verdadeiramente que a Terra se move em torno do Sol.

Galileu retorna a Florença trazendo na bagagem a interdição de defender e ensinar o Sistema Copernicano.

O aparecimento de três cometas em Agosto de 1618 propiciou ao Padre Grassi a elaboração de uma obra na qual defende a teoria de Tycho Brahe<sup>10</sup>, propondo uma determinada tese para a explicação do brilho destes astros. Galileu abre uma polémica com o seu *Discorso sulle Comete*, onde, defendendo uma hipótese diferente, admitindo implicitamente, e de um modo bastante criptográfico, o sistema copernicano. É importante acentuar que o pano de fundo desta prolixa e inconclusiva polémica reside na disputa entre os diferentes sistemas cosmológicos. A obra com que Galileu termina a sua intervenção nesta polémica é *O Saggiatore* (O Ensaaiador), publicada em 1623 sob a égide da Academia dei Lincei<sup>11</sup> e dedicada ao cardeal Maffeo Barberini que em 10 de Agosto desse mesmo ano sob ao pontificado como Urbano VIII. *O Ensaaiador* é a obra de Galileu mais pobre quanto ao conteúdo científico, não tem o valor da novidade do *Sidereus* nas descobertas astronómicas, nem o valor doutrinário dos *Diálogos* na defesa do novo sistema, nem a importância teórica dos *Discursos* no enunciado das leis do movimento.

Embora nesta obra o tema central seja a natureza dos cometas que Galileu, erradamente, assumia como um fenómeno óptico e não como um objecto físico, as suas paginas contêm considerações cujo valor filosófico é inquestionável. É o que se passa com o conceito de matéria, assumindo Galileu, em clara oposição aos aristotélicos, que os atributos da matéria ou substância são caracterizados geometricamente e mecanicamente. Para os antigos, as propriedades da matéria eram definidas pelas sensações provocadas, o cheiro, o sabor e a cor definiam as qualidades dos corpos com base nos quais eles eram estudados. Galileu afirma sem reboço que estas propriedades não eram inerentes às substâncias, mas dependiam efectivamente do observador, elas não residiam nos corpos observados, mas no corpo sensitivo. Nesta objecção de Galileu está implícita a necessidade de uma nova linguagem para descrever a natureza: os objectos físicos são descritos pelas suas propriedades geométricas e mecânicas cujos termos apropriados a usar são o número, a distância, o movimento. Galileu defende com o calor habitual que coloca nas suas polémicas a concepção atomista da matéria sem jamais recorrer ao termo átomo, mas referindo-se a «corpúsculos ínfimos»<sup>12</sup>. Foi no *Saggiatore* que Galileu avançou com a sua

<sup>10</sup> O cometa de 1577 e as considerações que em torno deste objecto celeste, foram feitas por Tycho Brahe.

<sup>11</sup> Academia fundada em 1603 por Frederico Cesi com o objectivo de estudar, sem dissertações retóricas, os fenómenos naturais; por convite, Galileu integra-a no ano de 1611 (?).

<sup>12</sup> ROSSI, P., 1999, *La Naissance de la Science Moderne*, Paris, Ed. du Seuil, p.141.

célebre tese: «A filosofia está escrita nesse imenso livro que permanece sempre aberto diante dos nossos olhos, quero dizer o Universo, mas não se pode compreendê-lo se, em primeiro lugar, não se tentar compreender a linguagem e conhecer os caracteres no qual está escrito. Está escrito em linguagem matemática (...)».

Ao retorquir a Galileu com o livro *Ratio ponderum Librae et Simbellae*, em 1626, o Padre Grassi mostra que «réduire les qualités sensibles au domaine de la subjectivité conduit à un conflit ouvert avec le dogme de l'Eucharistie, car lorsque les substances du pain et du vin sont transsubanciées dans le corps et le sang du Christ, sont également présentes en elles les apparences extérieures: la couleur, l'odeur, le goût.. Pour Galilée, il s'agit de «noms», et, pour les noms, nul besoin d'intervention miraculeuse de Dieu»<sup>13</sup>. Eis argumentos de peso que, mesmo sem o heliocentrismo, poderiam acarretar para Galileu a condenação. No séc. XX, na primeira metade da década de 80, um investigador, Pietro Redondi, publicou uma obra, *Galileu Herético*<sup>14</sup>, onde relativiza a importância da polémica sobre o heliocentrismo no que diz respeito à condenação de Galileu, enfatizando a preocupação da Igreja perante a sua adesão às concepções atomistas que seria completamente incompatível com os pressupostos filosóficos em que se baseava a interpretação dos rituais religiosos, em particular da eucaristia. Tal conflito assume proporções extraordinárias num período de contra reforma religiosa e, por si só, seria a razão forte para a condenação do sábio Pisano.

Com o início do pontificado de Urbano VIII, Galileu alimentava a esperança de anular de neutralizar a proibição de 1616 e parte para Roma onde foi recebido amistosamente pelo Papa que lhe concedeu audiência por seis vezes. Embora em nada tenha conseguido mudar a Igreja, no que diz respeito à sua posição sobre a teoria de heliocêntrica, a forma amistososa como o Papa o tratara fê-lo supor que as condições seriam agora favoráveis para escrever sobre a sua teoria das marés, onde pretendia, em detalhe, tratar os dois sistemas astronómicos, o de Ptolomeu e o de Copérnico.

### 3. Os «*Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo*»<sup>15</sup>

Galileu lançou-se, durante três anos, de 1626 a 1629, na redacção da sua obra, os *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo*. Das entrevistas que, entretanto, tivera com o papa, algumas indicações colheira sobre a forma de como abordar as matérias no seu livro que inicialmente pensara intitular *Discurso sobre o fluxo e refluxo do mar*: primeiro, não mencionar «as marés» no título da obra, no sentido de não sublinhar, ou acentuar este fenómeno, como prova demonstrativa do novo sistema; segundo, que fossem apresentados os dois sistemas enquanto hipóteses matemáticas, sem tomar partido pelo sistema de Copérnico.

Escrito em italiano os *Dialogo* têm uma estrutura platónica: o conhecimento não se pode transmitir, mas deve ser descoberto por cada um através de um jogo de interrogações, analogias, memórias que suscitem no seu intelecto a imagem e a construção de raciocínios conducentes à descoberta dos argumentos que se pretendem que sejam aceites. No diálogo bastam duas personagens, mas Galileu coloca uma terceira personagem que tornará todo este jogo dialógico muito mais vivo e interessante. A adopção deste

<sup>13</sup> ROSSI, P., 1999, p.141.

<sup>14</sup> REDONDI, Pietro, 1989, *Galileo: Heretic*, London, Penguin Books.

<sup>15</sup> Em ANEXO apresenta-se a tradução de um extracto da Segunda Jornada.

modelo de exposição poderá ter ainda um outro objectivo: afastar o autor da expressão da sua opinião própria, não o comprometendo directamente com afirmações que podiam ser consideradas condenáveis, transferindo essa disputa silogística para as três personagens que evoluem no palco da discussão<sup>16</sup>.

E as personagens escolhidas são: Salviatti, nobre florentino grande amigo de Galileu, morto em 1614, que revela uma inteligência brilhante e um humor vivo e muito sarcástico, atributos de um jovem aristocrata florentino, é o *alter ego* do autor; Sagredo, veneziano ilustre que morreu em 1620, em cujo palácio decorre a acção, grande amigo do autor e que assume em todo o debate uma posição prudente, mais terra a terra, é um homem instruído cuja postura o leva a ser o moderador do debate; Simplicio é o aristotélico de serviço, não se sabe se, com esta personagem, Galileu pretendeu dar voz a algum seu contemporâneo defensor das ideias «antigas» ou se utilizou, pura e simplesmente, o nome de um filósofo grego que viveu no séc. V-VI em Atenas, Simplicius, e que publicou extensos comentários às obras de Aristóteles.

A forma literária dos Diálogos permite todos os jogos de cena possíveis, muitas surpresas e digressões excêntricas sobre os temas em debate. Nem sempre as proposições em discussão estão no mesmo plano, por vezes enuncia-se uma tese que não é rebatida, ou até mesmo esquecida, para mais à frente ser retomada com maior pertinência; adopta-se uma linguagem coloquial, com humor, cheia de imagens<sup>17</sup>. Estas são algumas características que não tornam fácil nem a sua leitura, nem, tão pouco, a perseguição do fio do raciocínio do autor.

Nesta sua obra Galileu mantém bem vivo o seu gosto pela controvérsia e, em especial, uma ironia fina e mordaz com que trata, no campo das ideias, os seus adversários. Quando SIMPLICIO se queixa em relação à maneira de filosofar do autor, afirmando que esta «tende à subversão de toda a filosofia natural, espalha a perturbação por todo o lado, põe em desordem o Céu, a Terra, o universo inteiro», SALVIATI riposta, dizendo: «Não temais pelo Céu e pela Terra. Não receeis a sua subversão ou a da filosofia. Quanto ao Céu, os vossos receios são vãos porque vós mesmo o reputais de inalterável e impassível; e quanto à Terra, não procuramos senão enobrecê-la e dar-lhe perfeição quando nos aplicamos a torná-la semelhante aos corpos celestes e, de certo modo, a colocá-la no Céu, de onde a baniram os filósofos. A própria filosofia só poderá beneficiar das nossas discussões, porque, se os nossos pensamentos são verdadeiros, ela fará novas aquisições e, se são falsos, a sua refutação contribuirá para estabelecer mais firmemente as antigas doutrinas. Colocai-vos antes do lado de certos filósofos, ajudai-os e apoiái-os, porque, quanto à ciência, ela só pode progredir»<sup>18</sup>. São estas tiradas polémicas, uma outra característica da obra, que prendem constantemente a atenção do leitor.

Os Diálogo estão divididos em quatro capítulos ou jornadas, tratando cada um deles um tema diverso: o primeiro, a organização geral do universo; o segundo, o

<sup>16</sup> DRAKE, Stillman, 1981, p.117.

<sup>17</sup> DE GANDT, François et René Fréreau, 1992, *Présentation*, In Galileu Galilei, *Dialogue Sur les deux grands Systèmes du Monde* (Trad. Francesa Completa dos Dialogo, 1992), Paris, Edition du Seuil, p.22. Existe tradução portuguesa completa desta obra: Galileu Galilei, 2001, *Diálogo sobre os Dois Máximos Sistemas do Mundo Ptolomaico e Copernicano*, (Tradução, introdução e notas de Pablo Ruben Mariconda). Francesa Completa dos Dialogo, 1992), São Paulo, Discurso editorial.

<sup>18</sup> GALILEI, Galileu, *Diálogo dos Grandes Sistema* (primeira Jornada), (Tradução portuguesa, anotada e prefaciada por José Trindade dos Santos, 1979) Lisboa, Gradiva., p.49 (63).

movimento de rotação da Terra (o movimento «diurno»); o terceiro, o movimento de translação da Terra em torno do sol (o movimento «anual»); o quarto, a teoria das marés.

A Primeira Jornada trata da ordem do Cosmos. À ordem aristotélica de um mundo composto por duas partes completamente distintas, sublunar e supralunar, caracterizados por movimentos distintos, Galileu opõe uma outra ordem, a de um mundo unificado nas suas diferentes partes e obedecendo aos mesmos princípios. Neste novo quadro ordenado de Galileu, o movimento rectilíneo é impossível: «Fora do repouso e do movimento circular, não há outro movimento que possa conservar a ordem»; «este movimento circular que conferis aos corpos celestes convém também à Terra». Os aristotélicos defendem a homogeneidade dos céus, onde não há alterações e onde os corpos são perfeitamente esféricos e lisos, e contra isto basta a Galileu mostrar as observações da Lua feitas pela sua luneta astronómica. Galileu censura os aristotélicos de acreditarem num mundo imutável e perfeito, enquanto toda a natureza está em permanente mudança e se renova.

A Segunda Jornada vai ocupar-se do movimento de rotação da Terra. Galileu argumentará na defesa deste movimento cujo período é de vinte e quatro horas. Toda a argumentação de Galileu se desenvolve em torno do problema do movimento, onde este é entendido com uma natureza diferente da que lhe fora atribuída por Aristóteles: nega-se a ideia aristotélica que «todo o movimento implica um motor», o movimento é um estado relativo que depende do observador. E Galileu pinta o quadro final: « (SALVIATI, dirigindo-se a SIMPLÍCIO) Fechai-vos com um amigo na maior cabina sob a ponte de um grande navio e levai convosco moscas, borboletas e quaisquer outros animaisinhos que voem; muni-vos também de um recipiente cheio de água com peixinhos; predei também um pequeno vaso cuja água cai gota a gota num outro colocado debaixo. Quando o navio está imóvel, observai cuidadosamente como os insectos voam igualmente em todas as direcções dentro da cabina, os peixes nadam em qualquer direcção e as gotas caem no mesmo vaso; se atirais qualquer coisa para ao vosso amigo, não tendes necessidade de o fazer com mais força numa direcção do que noutra, pois as distâncias permanecem as mesmas (...) fazei andar o navio à velocidade que queirais, desde que o movimento seja uniforme, sem qualquer balanço num sentido qualquer, não notarei a mínima alteração em todos os efeitos que se acabou de indicar; nenhum deles vos permitirá dar conta se o navio está em movimento ou parado (...)»<sup>19</sup>. Embora o estatuto do movimento se altere, deixa de se definir como uma propriedade do corpo e passa a ser um estado ocupado pelo corpo, Galileu nega o movimento rectilíneo infinito, obrigando todos os corpos ao movimento circular. É nesta Jornada que se encontra, pela primeira vez, os fundamentos do enunciado do Princípio da Inércia ou Primeira Lei de Newton que voltará a aparecer nos *Discorsi*.

A Terceira Jornada vai ocupar-se dos astros do sistema solar e do seu movimento em torno do Sol. O Diálogo inicia-se com a comparação das observações de medidas angulares de doze astrónomos sobre a «estrela nova de 1572 que apareceu na Cassiopeia», permitindo a Galileu mostrar que a estrela, muito provavelmente, se encontrará na esfera das estrelas fixas o que permitirá concluir da corruptibilidade dos céus. São apresentados muitos cálculos detalhados. O modelo heliocêntrico é apresentado como

---

<sup>19</sup> GALILEI, Galileu, *Dialogue Sur les deux grands Systèmes du Monde*, (Trad. Francesa Completa dos Dialogo, 1992), Paris, Edition du Seuil, pp (213-214).

um modelo que está de acordo com as observações astronómicas, dizendo Salviati: «(...) limito-me a apresentar as razões naturais e astronómicas que poderei invocar em favor das duas posições, deixo aos outros o cuidado de decidir; e finalmente esta decisão não deverá ser ambígua, já que uma das constituições do universo será necessariamente verdadeira e a outra necessariamente falsa (...)»<sup>20</sup>. Na exposição de Galileu há uma grande simplificação sobre o movimento dos planetas em torno do Sol, ignorando-se, por exemplo, o modelo das órbitas elípticas de Kepler. Estes factos são justificados pelo objectivo do autor que era claramente «quebrar a resistência em relação aos movimentos da Terra, de modo a usá-los na explicação as marés»<sup>21</sup>.

Já no fim desta Jornada, a partir da página (427), discute-se a particularidade dos movimentos da Terra e a sua relação com o facto desta ser um magnete gigante, invocando-se amiúde a obra de Gilbert, *De Magnete*.

A Quarta Jornada, parte conclusiva da obra, vai tratar de explicar a Teoria das Marés, onde «recusando toda a astrologia, rejeitando, portanto, toda a atracção da Lua sobre a Terra, Galileu faz prova de uma espantosa ingenuidade para explicar as marés unicamente á custa dos movimentos diurno e anual da Terra»<sup>22</sup>...

Estranho destino está reservado a este livro, pois advogando o sistema verdadeiro, ou pelo menos aproximadamente, de organização astral do sistema solar, termina com a defesa de uma teoria sobre as marés que será unanimemente rejeitada como falsa, pois é incapaz de se adaptar às observações conhecidas.

Após vicissitudes várias é obtida a respectiva autorização para a impressão e em 21 de Fevereiro de 1632 os Diálogos estão impressos<sup>23</sup>, contudo em Agosto desse mesmo ano as vendas são suspensas e o autor, um homem de quase 70 anos, é intimado a deslocar-se a Roma e a responder perante o Tribunal do Santo Ofício<sup>24</sup>. E no dia 22 de Junho de 1633 pronunciava-se a sentença que a dado passo dizia:

«(...) Por ordem de Nosso Senhor e dos Eminentíssimos e Reverendíssimos Senhores cardeais desta Suprema e Universal Inquisição, foram, pelos qualificadores Teólogos, qualificadas as duas posições da estabilidade do Sol e do movimento da Terra do seguinte modo:

«Que o Sol seja o centro do mundo e imóvel de movimento local é proposição absurda e falsa em filosofia, e formalmente herética por ser expressamente contrária à Sagrada Escritura;

«Que a Terra não seja o centro do mundo nem imóvel, mas que se mova, ainda de movimento diurno, é igualmente proposição absurda e falsa em filosofia, e considerada em teologia ad minus errónea em Fé.

Mas querendo-se naquele tempo proceder para contigo com benignidade, foi decretada na Sacra Congregação reunida diante de Nosso Senhor a 25 de Fevereiro de 1616, que o Eminentíssimo Cardeal Bellarmino te ordenasse que tu devessees totalmente abandonar a dita opinião falsa e que, recusando tu tal fazeres, te fosses pelo Comissário do Santo Ofício intimado que deixasses a dita doutrina e que não pudesses ensiná-la a outros,

<sup>20</sup> Ibid., p. (384).

<sup>21</sup> DRAKE, Stillman, 1981, p. 119.

<sup>22</sup> DE GANDT, François et René Fréreau, 1992, p.27.

<sup>23</sup> DRAKE, Stillman, 1995, *Galileo at Work, His Scientific Biography*, Mineola, Dover Publications, p. 336

<sup>24</sup> DRAKE, Stillman., 1995, p. 338.



nem defendê-la, nem tratar dela, e que, se não te conformasses com a intimação, fosses enacrcerado; (...)»<sup>25</sup>.

Após esta leitura ajoelhando-se, Galileu, vestido com o burel branco de penitente, foi obrigado a publicamente recitar e assinar a abjuração que, em dado passo, rezava assim: «(...) fui julgado veementemente suspeito de heresia, por haver tido e crido que o Sol seja o centro do mundo e imóvel, e a Terra não seja centro e se mova(...)»<sup>26</sup>.

#### 4. *Os Discorsi e Dimostrazioni Matematiche intorno a due nuove scienze attenenti alla Mecanica & i Movimenti Locali*

Numa carta a Marsili datada de 29 de Novembro de 1631, Galileu escreveu: «Estou a pensar publicar o primeiro livro sobre o movimento imediatamente depois dos Diálogos»<sup>27</sup>. Mas o processo de que fora alvo obrigara-o a interromper a sua actividade. Retomou o trabalho de redacção dos *Discorsi* no Outono de 1633 e tinha-o pronto para publicação em 1637. Foi uma jornada penosa, em 1634 morreu a sua filha Virgínia e a cegueira ia-se apoderando dos seus olhos de tal modo que em 1638, ano da saída a público, em Leiden, dos *Discorsi*, estava completamente cego.

Nos *Discorsi*, Galileu pegou em todos os trabalhos de mecânica que já fizera e de uma forma rigorosa, por via da demonstração geométrica, utilizando o exemplo de Arquimedes, autor que lhe é muito querido, apresentou os fundamentos da cinemática moderna. Embora adopte, no essencial, uma construção dialógica tal como nos Diálogos, todo o texto está recheado de teoremas, proposições e demonstrações o que não acontecia naquele. Os actores colocados em cena são exactamente os mesmos, Salviati, Sagredo e Simplicio, e aos três é-lhes atribuído o mesmo papel dos Diálogos, contudo a presença de um texto matematicamente complexo não casa com o tipo de conversa em tom retórico-polemizante já desenvolvido na obra anterior, é necessário inventar uma quarta personagem. É uma personagem sem rosto, pois embora sempre presente nas tiradas dos três actores já nomeados, estará fisicamente sempre ausente. Esta quarta personagem é um Académico cujo nome não é referido (evidentemente que é Galileu) cujo longo tratado sobre o movimento é lido por Salviati e comentado pelos três.

Os *Discorsi* são compostos originalmente por quatro jornadas. A Primeira Jornada consiste numa introdução às duas novas ciências, discutindo as hipóteses em que assentam ambas. A Segunda Jornada é consagrada à resistência dos materiais, é a menos conhecida e a que foi menos discutida nos trabalhos posteriores dos comentadores de



<sup>25</sup> CARAÇA, Bento J., 1970, *Galileo Galilei, valor científico e valor moral da sua obra*, in Bento J. Caraça, Conferências e outros escritos, Lisboa. p. 62.

<sup>26</sup> *Ibid.*, p. 64.

<sup>27</sup> DRAKE, Stillman., 1995, p. 335.

Galileu: «Uma lacuna explica este esquecimento. Galileu ignora com efeito a noção de elasticidade e esta ausência cria por si só uma descontinuidade entre a sua análise e as análises modernas»<sup>28</sup>. Esta jornada é importante, pois sob o ponto de vista de método, Galileu vai generalizar o princípio da alavanca já tratado por Arquimedes, e aplicá-lo aos novos problemas da estabilidade de estruturas.

Nas duas outras jornadas apresenta-se a cinemática na sua primeira versão moderna. Na terceira estuda-se o movimento uniforme e o movimento uniformemente acelerado, é aqui, no Escólio à Proposição XXIII, que Galileu apresenta o primeiro enunciado do Princípio da Inércia, «Com efeito nos planos inclinados descendentes está presente uma causa de aceleração, enquanto nos planos ascendentes está presente uma causa de retardamento; segue-se disso ainda que o movimento sobre um plano horizontal é eterno, visto que se é uniforme, não aumenta nem diminui, e muito menos se acaba»<sup>29</sup> e que também já tinha sido exposto, embora fora do contexto matemático, na terceira Jornada dos *Diálogos*. Sobre este Princípio, Newton, no Escólio que se segue à apresentação das suas três leis de Movimento, escreveu: «By the first two Laws and the first two Corollaries, Galileo, discovered that the descent of bodies varied as the a square of the time»<sup>30</sup>. E entre estes dois homens, ou estas duas obras, medeia meio século, o suficiente para se proceder a uma mudança conceptual fundamental: o peso de um corpo deixou de ser uma propriedade inerente à matéria, para passar a ser uma acção provocada pela presença de outros corpos. É esta diferença que faz com que o enunciado de Galileu corresponda a uma simples frase no seu Escólio sobre o movimento em planos inclinados, enquanto, em Newton, a mesma ideia assume a importância de um primeiro axioma, ou primeira lei, no seu edifício teórico.

Na quarta jornada, Galileu vai aplicar as leis do movimento, já determinadas, ao estudo do movimento dos projecteis, enquanto movimento composto de um movimento uniformemente acelerado, na vertical, e uniforme na horizontal, cuja trajectória é uma parábola. Eis um fragmento: «Concordo que as conclusões assim demonstradas em abstracto na realidade de e se mostrarem a tal ponto inexactas que nem o movimento transversal é uniforme, nem a aceleração natural acontece segundo a proporção suposta, nem a trajectória é parabólica (...) Quando queremos aplicar às distâncias finitas as conclusões demonstradas para distâncias imensas, devemos efectuar correcções, visto que a nossa distância ao centro da terra, embora não seja realmente infinita, é tal que pode ser considerada imensa, quando comparada com a deficiência dos nossos instrumentos; o lançamento de projecteis será o mais importante e, entre eles, consideramos somente os projecteis de artilharia, cujo alcance, por maior que seja, não ultrapassará as quatro milhas, enquanto que são muitos milhares de milhas que nos separam do centro da Terra. E, como as trajectórias desses projecteis terminam na superfície do globo terrestre, muito pouco alterarão a sua forma parabólica, que, admito sofreria grandes transformações, caso

<sup>28</sup> CLAVELIN, Maurice, *Introduction*, in Galilée, *Discours concernant deux sciences nouvelles*, (tradução e notas de Maurice Clavelin, 1995) Paris, PUF, pXXI

<sup>29</sup> GALILEI, Galileu, *Dois Novas Ciências*, (Tradução e notas de Letizio Mariconda e Pablo Mariconda, 1988), São Paulo, Nova Stella Editorial, p. 213 (244).

<sup>30</sup> NEWTON, Isaac, *Principia mathematica philosophiae naturalis*, ed. Cajori, T.I, p.21 (1962, University of California Press)

terminassem no centro da Terra»<sup>31</sup>. Há diferenças entre a trajectória real e a ideal, a teoria é uma abstracção cuja coincidência com os resultados das observações e/ou experiências será sempre limitado. Forçando um pouco a conclusão, aqui há já a ideia que Newton colocou na quarta das suas «regras de raciocínio na filosofia natural» apresentadas no Livro III dos Principia: «Em filosofia natural, as proposições a que se chega por indução a partir dos fenómenos devem ser tidas como verdadeiras, já que hipóteses contrárias não constituem obstáculo, seja de uma forma rigorosa ou aproximada, até que surjam outros fenómenos que, quer as tornem mais precisas, quer se apresentem como excepção»<sup>32</sup>; a teoria deve estar de acordo com a experiência e, enquanto isto subsistir, deve ser tomada como verdadeira, esse acordo pode ser aproximado e não é por este facto que a teoria deverá ser alterada...

Embora publicados em 1638, Galileu só tacteará o primeiro exemplar em Junho de 1639 e, a acompanhar a alegria de ter nos seus braços o livro que resumia o trabalho de toda a sua vida, a mágoa de lhe terem alterado o título que propusera, *Novos Diálogos* ou *Diálogos sobre duas ciências novas*, uma espécie de continuação do diálogo que fora obrigado a calar ou a forma de mostrar ao mundo que, apesar de ter abjurado, resistira.

Morre em 8 de Janeiro de 1642... e passado um ano, a 4 de Janeiro de 1643, nascerá Newton.

---

<sup>31</sup> GALILEI, Galileu, 1988, *Dois Novas Ciências*, (Tradução e notas de Letizio Mariconda e Pablo Mariconda), São Paulo, Nova Stella Editorial, p. 252 (274-5).

<sup>32</sup> NEWTON, Isaac, *Principia mathematica philosophiae naturalis*, ed. Cajori, T.II, p.398 (1962, University of California Press)

## 5. Cronologia essencial sobre Galileu Galilei

Ano	Vida de Galileu	Outros acontecimentos
1564	A 15 de Fevereiro nasce em Pisa Galileu Galilei	A 18 de Fevereiro morre Miguel Angelo Em Abril nasce Shakespeare A 27 de Dezembro Nasce Kepler
1571		
1574	A família de Galileu muda-se para Forença	
1581-1585	Galileu matricula-se na Universidade de Pisa no curso de medicina que interromperá para se dedicar ao estudo da matemática	
1585	Galileu escreve <i>Theoremata circa centrum gravitatis solidorum</i>	
1586	Galileu escreve <i>La bilanceta</i>	
1589	Galileu consegue a cátedra de matemática na Universidade de Pisa	
1590	Galileu começa a escrever o <i>De Motu</i>	
1591	Morre o pai de Galileu	
1592	Galileu obtém a cátedra de matemática na Universidade de Pádua	
1596		Sai o <i>Mysterium cosmographicum</i> de Kepler
1597	Escreve com fins didacticos um <i>Tratado delle sfera, ovvero cosmografia</i> , onde expõe o sistema geocêntrico	
1600	Nasce a sua filha primogénita, Virgínia, futura irmã Maria Celeste	Morte de Giordano Bruno É publicado em Londres o <i>De Magnete</i> de Gilbert.
1601	Nasce a sua Segunda filha, Livia	Morre Tycho Brahe
1606	Galileu publica <i>Le operazioni del compasso geometrico e militare</i>	
1607	Publica a <i>Difesa contro alle calunnie et imposture di Baldessar Capra</i>	
1609	Constrói a luneta astronómica e faz as primeiras descobertas	Kepler publica a <i>Astronomia Nova</i> , onde são enunciadas as suas duas primeiras leis do movimento dos planetas
1610	descobre os satélites de Júpiter; observa as manchas solares e as fases de Vénus; Publica o <i>Sidereus Nuncius</i> Regressa a Florença como «Matemático e filosofo primario» de Cosimo II	
1611	Desloca-se a Roma, onde mostra as suas descobertas à Igreja	
1612	Galileu publica o <i>Discorso intorno alle cose che stano in su l'acqua o che in quella si muovono</i> .	
1613	Organizado pela Academia dei Lincei são publicadas as três cartas a Marco Welser: <i>Istoria e dimostrazioni intorno alle macchie solari e loro accidenti</i> .	
1615	Galileu é denunciado ao santo Ofício pelo dominicano Niccolò Lorini. Escreve a carta Piero Dini e Cristina de Lorena sobre as relações entre ciência e escrituras Em Dezembro está em Roma, onde tenta impedir que se tomem medidas contra o copernicianismo.	
1616	Escreve o <i>Discorso del flusso e reflusso del mare</i> na forma de uma carta ao cardeal Alessandro Orsini. Os escritos de Copérnico são proibidos <i>donec corrigantur</i> . Galileu recebe da parte do cardeal Bellarmine a notificação do procedimento e é avisado a não sustentar, ensinar ou defender a opinião que foi	

Ano	Vida de Galileu	Outros acontecimentos
	condenada. A 24 de Outubro, Virgínia recebe os votos e toma o nome de irmã Maria Celeste.	
1617	Livia toma os votos e torna-se irmã Arcangela.	
1618	São observados três cometas na constelação Escorpião	
1619	Sai a obra <i>Disputatio astronomica de tribus cometis anni MDCXVIII</i> de Orazio Grassi e a resposta de Mario Giudeucci, <i>Discorso delle comete</i> ; nova resposta de Grassi com <i>Libra astronomica et philosophica</i> .	É publicado a obra de Kepler <i>Harmonices mundi</i> , onde é enunciada a sua terceira lei do movimento dos planetas
1620	Morre a mãe de Galileu	
1621	Morre Roberto Bellarmino e, a 28 de janeiro, o grão-duque da Toscana Cosimo II, sucedendo-lhe Fernando II	
1622		Sai na Alemanha a <i>Apologia pro Galilaeo</i> de Campanella.
1623	O cardeal Maffeo Barberini é eleito papa e toma o nome de Urbano VIII. Sai o <i>Saggiatore</i> .	
1624	Galileu em Roma é recebido várias vezes pelo Papa, mas não consegue obter a revogação da decisão de 1616. Escreve a <i>Carta</i> a Francesco Ingoli, onde aborda o problema do movimento da Terra. Inicia a composição dos <i>Massimi Sistemi</i> .	
1626	Surge, em Paris, a <i>Ratio ponderum librae et simbellae</i> de Orazio Grassi, uma resposta opaca e tardia ao <i>Saggiatore</i> .	
1628	Galileu encontra-se gravemente doente.	É publicado em Roterdão <i>Exercitatio anatomica de motu cordis et sanguinis in animalibus</i> de Harvey
1630	Galileu termina a escrita, várias vezes interrompida, dos <i>Massimi Sistemi</i> . Vai a Roma para obter o <i>imprimatur</i> .	A 15 de Novembro morre Kepler
1631	As negociações para o <i>imprimatur</i> transferem-se de Roma para Florença.	
1632	Em Fevereiro, o tipógrafo Landini acaba de imprimir o <i>Massimi Sistemi</i> . A obra é confiscada em Julho e Galileu recebe a intimação para comparecer perante o Santo Ofício.	
1633	Em 12 de Abril Galileu apresenta-se no Santo Ofício e a 22 de Junho com a sua abjuração conclui-se o seu processo. Em Julho Galileu vai para Siena, onde inicia a composição da <i>Nuove Scienze</i> . Em Dezembro obtem do Papa autorização para se transferir para a sua casa de Arcetri, onde poderá permanecer em prisão domiciliária.	Descartes termina o <i>Traité du Monde</i>
1634	A 2 de Abril morre, no convento de São Mateus em Arcetri, a filha predilecta de Galileu, irmã Maria Celeste.	
1635	Sustermans termina o retrato de Galileu, hoje na Galeria Uffizi. Em Leiden é publicada a versão latina dos <i>Massimi Sistemi</i> .	
1637	Galileu fica completamente cego.	
1638	Em Leiden, pela casa Elsevier, saem os <i>Dicorsi e dimonstrazioni matematiche intorno a due nuove scienze attinenti alla meccanica ed i movimenti locali</i> .	
1639	Vicenzo Viviani passará a acompanhar Galileu e	

Ano	Vida de Galileu	Outros acontecimentos
1641	ficará junto a ele até à morte.	
1642	Galileu escreve a <i>Lettera sul candore della Luna</i> .	
1643	A 8 de Janeiro morre Galileu.	A 4 de Janeiro nasce Isaac Newton

## Texto de Apoio<sup>☆</sup>

167

**Sagredo:** Eu queria, em nome do senhor Símplicio, defender, se for possível, Aristóteles ou, pelo menos, perceber melhor o seu raciocínio. Vós dizeis: não basta ver que a pedra cai ao lado da torre para demonstrar que o movimento da pedra é perpendicular (o que representa o termo médio do silogismo) é preciso também admitir que a Terra esteja imóvel (o que seria a conclusão a demonstrar) pois se a torre se movesse juntamente com a Terra e a pedra caísse junto a ela, o movimento da pedra seria transversal e não perpendicular. Mas responderei que, caso a torre se movesse, seria impossível que a pedra caísse junto a ela, portanto pela sua queda ao lado da torre podemos concluir sobre a estabilidade da Terra.

**Símplicio:** Assim é, pois se se quisesse que a pedra caísse ao lado da torre, quando esta última é levada pela Terra, a pedra precisaria de ter dois movimentos naturais, o movimento rectilíneo em direcção ao centro e o movimento circular em torno do centro, o que é impossível.

**Salviati:** Portanto a defesa de Aristóteles está no facto de ser impossível, ou pelo menos ele assim o ter considerado, que a pedra se pudesse movimentar com um movimento misto, composto de um movimento rectilíneo e de um outro circular. Se com efeito ele não tivesse considerado impossível que a pedra se movimentasse para o centro e em torno do centro simultaneamente, teria percebido que a pedra, na queda, cairia ao lado da torre quer a torre se movimentasse quer estivesse imóvel, consequentemente teria percebido que da queda ao lado da torre nada se podia concluir a favor do movimento ou do repouso da Terra. Mas isto não desculpa Aristóteles: se o tivesse pensado não devia tê-lo enunciado, pois era um ponto importante na sua argumentação, mas sobretudo não se pode afirmar que este efeito seja impossível nem que Aristóteles o tivesse considerado impossível. Não se pode falar do primeiro caso: daqui a

---

<sup>☆</sup> Galilei, Galileu, *Diálogo sopra i due massimi sistemi del mondo, tolomaico e copernicano*, (A cura di Libero Sosio, 1984) Torino, Giulio Einaudi Editore, 172-183 (Tradução de Paola Valpreda e revisão de Augusto J.S.Fitas) No texto, dentro dos parentesis [], colocaram-se termos originais em italiano; os números na margem representam a numeração das páginas na Edição Nacional: Galilei, Galileu, *Le Opere*, A cura di Antonio Favaro, Firenze, Barbera, 1890-1909, in 20 voll. (21 tomi).

pouco demonstrarei que não só é possível, mas sim necessário. Também não se pode falar do segundo, pois o mesmo Aristóteles acha que o fogo sobe naturalmente com movimento rectilíneo, ao mesmo tempo que roda devido ao movimento diurno a que o próprio céu obriga a participar o elemento fogo e a maior parte do ar; ele não considera impossível misturar o movimento rectilíneo ascendente com o movimento circular, que é comunicado ao fogo e ao ar pela concavidade da Lua, então não poderia considerar impossível misturar o movimento rectilíneo da pedra para baixo com o movimento circular que seria natural para o conjunto do globo terrestre, ao qual a pedra pertence.

Simplicio: Não acho que seja assim, pois quando o elemento fogo gira em conjunto com o ar, é facilímo, aliás é necessário, que uma parte de fogo, ao subir, a partir da Terra, passando pelo ar móvel, receba deste o mesmo movimento, porque é um corpo tão leve, subtil e muito fácil de ser posto em movimento; mas que uma pedra pesadíssima ou uma bala de canhão, que caía de cima para baixo sem qualquer obstáculo seja transportada pelo ar ou por qualquer outro meio, isto é impensável. E há a experiência tão característica da pedra deixada cair do mastro do navio: a pedra, quando o navio fica parado, cai ao pé do mastro; mas quando o navio está em movimento, ela cai a uma distância da base igual aquela que o navio andou durante a queda da pedra: o que serão umas poucas braças, se o movimento do navio for rápido.

Salviati: Há uma grande diferença entre o caso do navio e o da Terra, supondo que o globo terrestre tem movimento diurno. De facto é claríssimo que o movimento do navio, que não lhe é natural, é acidental também para todas as coisas que estão nele, portanto não é de estranhar que a pedra retida em cima do mastro, quando deixada cair, desça sem que tenha de seguir o movimento do navio. Mas a rotação diurna passa por ser um movimento próprio e natural do globo terrestre e por consequência de todas as suas partes, é-lhes impresso pela natureza, é-lhe indelével; mas mesmo assim a pedra que está no cimo da torre tem como instinto primitivo o dar uma volta em torno do centro ao qual pertence e exerce



*esta sua capacidade eternamente, seja qual for o seu estado. E, para ficar convencido disto, só tereis que mudar uma ideia antiquada impressa na vossa mente e dizer: «até agora eu considerava que era uma propriedade do globo o ficar imóvel em torno do seu centro, nunca tive dificuldades ou algum problema em perceber que pela sua natureza qualquer das suas parcelas estão, elas também, com o mesmo repouso. O mesmo acontece no caso se, por instinto natural do globo terrestre, este desse sobre si próprio uma volta em 24 horas, cada uma das suas partes teria uma inclinação própria e natural para não ficar parada, mas sim de seguir o mesmo curso». E assim, sem encontrar qualquer problema, poder-se-á concluir que, por não ser natural, mas estranho, o movimento imposto ao navio pela força dos remos, e portanto a todas as coisas que estão dentro do navio, será bem necessário que a pedra, separada do navio, volte ao seu estado natural e a exercer de novo o seu próprio talento natural. Acrescente-se que é necessário que pelo menos aquela parte de ar que está por debaixo das montanhas mais altas, seja necessariamente arrastada e levada pelas asperezas da superfície terrestre ou que, sendo uma mistura de vapores e exalações terrestres, continue naturalmente o movimento diurno. O mesmo não acontece para o ar em redor do navio, arrastado pelos remos. Portanto transferir o raciocínio do navio para a torre não tem qualquer força de ilação, porque a pedra que cai do cimo do mastro entra num meio que não tem o mesmo movimento do navio, mas a que cai da torre encontra-se num meio que tem o mesmo movimento do globo terrestre inteiro e portanto, não é impedido pelo ar, mas, pelo contrário, é favorecido pelo movimento do ar, a pedra pode seguir o curso universal da Terra.*

**Simplicio:** Não consigo perceber como o ar possa imprimir o seu próprio movimento a um rochedo ou numa bala de canhão de ferro ou chumbo que, por exemplo, pese mais do que duzentas libras, como o movimento que o mesmo ar comunica às penas, à neve e a outras coisas levíssimas. Pelo contrário, acho que um peso daquele tipo, exposto a qualquer vento

muito forte, não se mexe nem um dedo: como se pode imaginar que o ar o pode arrastar?

**Salviati:** Há uma grande diferença entre a vossa experiência e o nosso exemplo. Na vossa, o vento atinge a pedra em repouso; e nós pomos o ar, já em movimento, a atingir a pedra que, por sua vez, já está em movimento com a mesma velocidade, portanto o ar não tem que comunicar-lhe um novo movimento, mas só mantê-lo ou, melhor, não impedir a continuação do movimento que a pedra já possui; vós quereis movimentar a pedra com um movimento estranho que não pertence à sua natureza, nós, conservá-lo com o seu movimento natural. Se quisésseis apresentar uma experiência mais apropriada, teria de vos pedir que observássemos, não com os olhos da cara, mas, pelo menos, com os olhos do espírito, o que aconteceria quando uma águia, levada pela força [ímpeto] do vento, deixasse cair das suas garras uma pedra; como a pedra já antes de cair das garras voava com a mesma velocidade do vento, acho que não cairia perpendicularmente mas que, seguindo o curso do vento e juntando-lhe o curso da sua própria gravidade, movimentar-se-ia com movimento transversal.

**Simplicio:** Teríamos que poder fazer esta experiência e julgar consoante os resultados; por enquanto o que se passa no navio parece dar-nos razão.

**Salviati:** Falastes bem até aqui, pois daqui a pouco as coisas poderão mudar. E para não vos deixar ainda, como se diz, em maus lençóis, dize-me, senhor Símplicio: achais que a experiência do navio se adequa bem ao nosso caso e que é razoável acreditar que o que nela acontece deva acontecer no globo terrestre?

**Simplicio:** Até aqui achei que sim; e, apesar de terdes mencionado algumas coisas em contrário, não acho que possa mudar de opinião.

**Salviati:** Antes pelo contrário, quero que continueis com a mesma opinião e penseis que a Terra se comporta como um navio; pois se se descobrisse que isto é prejudicial ao vosso raciocínio, poderíeis querer mudar de opinião. Dizeis: «quando o navio está imóvel, a pedra cai ao pé do mastro e cai longe do mastro quando o navio está em movimento, então podemos

deduzir que o navio esteja imóvel se a pedra cair ao pé do mastro e que o navio se movimenta quando a pedra cai longe do mastro; e como o que acontece no navio acontece da mesma forma na Terra, então deduzimos a imobilidade da Terra pelo cair da pedra ao lado da torre». Não é assim o vosso raciocínio?

Simplicio: É isso, e o vosso resumo foi feito de maneira a que seja muito fácil perceber.

Salviati: E agora dizei-me: se a pedra ao cair do mastro, quando o navio vai a grande velocidade, caísse no mesmo sítio do navio onde cairia quando o navio está parado, isto dava-vos qualquer ideia sobre se o navio se movimentava ou se ficava parado?

Simplicio: Não podia decidir nada: do mesmo modo que, por exemplo, o bater do pulso não permite perceber se a pessoa dorme ou está acordada, pois bate da mesma forma enquanto dormimos ou estamos acordados.

Salviati: Muito bem. Já fizestes a experiência do navio?

Simplicio: Não, mas acredito que os autores que a apresentam a tenham cuidadosamente observado; ainda por cima, percebe-se tão claramente a razão da disparidade entre os dois casos que não deixa margem para dúvidas.

Salviati: Que possa acontecer que os tais autores a refiram sem a ter feito, vós sois disso testemunha, pois sem a ter feito assegurais que é assim e acreditais na boa fé deles. Assim é possível, até mesmo necessário que cada um deles tenha feito o mesmo, acreditando nos seus antecessores, sem que jamais se encontre alguém que a tenha feito, pois quem a fizer descobrirá que a experiência demonstra o contrário do que está escrito: demonstrará que a pedra cai sempre no mesmo sítio do navio, esteja este parado ou em movimento com uma velocidade qualquer. Portanto, comportando-se a Terra da mesma maneira que o navio, se a pedra cai sempre na vertical junto ao sopé da torre, nada podemos inferir sobre o movimento ou o repouso da Terra.

Simplicio: Se recorrêsseis a um outro meio diferente da experiência, as nossas discussões nunca acabariam; pois a experiência parece-me uma

coisa muito afastada de todo o discurso humano que não deixa o mínimo lugar para a credulidade ou a probabilidade.

Salviati: Mas deixou dúvidas em mim.

Simplicio: Então, não realizastes cem provas, nem ao menos uma, como podeis afirmar com tal segurança o que está certo? Eu regresso à minha incredulidade e reafirmo a minha certeza no facto dos autores terem feito a experiência e que ela demonstre o que eles afirmam.

Salviati: Eu, mesmo sem experiência, tenho a certeza que o efeito será o mesmo que expus, pois é necessário que assim seja; e mais: vós também sabeis que não pode ser diferente, mesmo que finjais ou simuleis fingir não sabê-lo. Mas eu sei lidar tão bem com o cérebro que vos farei confessar à força. Mas o senhor Sagredo está muito calado: parece que acenou como se quisesse dizer alguma coisa.

Sagredo: Queria realmente dizer qualquer coisa; mas a curiosidade de ouvir as vossas palavras que vão forçar o senhor Símplicio a mostrar à luz do dia a ciência que queria esconder-nos, fez-me esquecer o desejo de falar, portanto continuai à vontade.

Salviati: Desde que o senhor Símplicio continue a responder às minhas perguntas, continuarei.

Simplicio: Eu responderei o que souber, e com a certeza que não encontrarei dificuldades em fazê-lo, pois acho que nada sei sobre as coisas que acho falsas, já que a ciência trata da verdade e não do que é falso.

Salviati: Não quero que digais ou que respondais outra coisa além do que tendes a certeza de saber. Mas dizei-me: se tivésseis uma superfície plana, bem polida como um espelho e de um material rijo como o aço, e que não fosse paralela ao horizonte, mas inclinada, e pusésseis por cima dela uma bola perfeitamente esférica feita de um material pesado e duríssimo, como o bronze, se a largásseis o que achais que aconteceria? Não achais, como eu, que ficava parada?

Simplicio: Sendo a superfície inclinada?

Salviati: Sim, assim supus.

Simplicio: Não acredito que ficasse parada, pelo contrário acho que espontaneamente se movimentaria na direcção do declive.

Salviati: Cuidado com o que dizeis, senhor Simplicio, pois acho que ela pararia em qualquer ponto que a deixásseis.

Simplicio: Se, senhor Salviati, utilizais tais suposições, começarei por não me espantar que as vossas conclusões sejam totalmente falsas.

Salviati: Portanto tendes a certeza que a bola se movimentaria espontaneamente na direcção do declive?

Simplicio: Qual é a dúvida?

Salviati: E achais que isto está certo não por eu o ter ensinado (estava a tentar convencer-vos do contrário), mas por vossa própria vontade e pela vossa inteligência natural.

Simplicio: Agora percebo o vosso artifício: fizestes essa afirmação para me tentar e (como o povo diz) me descalçar, não por acreditar no que afirmáveis.

Salviati: Assim é. Então quanto tempo deveria movimentar-se a bola e a que velocidade? Lembrai-vos que escolhi uma bola perfeitamente esférica e um plano bem polido, de modo a retirar todos os impedimentos externos e acidentais; e assim quero que vós vos abstraíais da resistência do ar quando este se deixa abrir e de todos os outros obstáculos acidentais, se existirem mais.

Simplicio: Percebi tudo perfeitamente; à vossa pergunta, eu respondo que a bola continuaria a movimentar-se infinitamente, tanto quanto existisse a inclinação do plano; e com um movimento acelerado continuamente, pois tal é a natureza dos objectos móveis graves, que vîres acquirant eundo\*; e quanto maior for o declive, maior será a velocidade.

Salviati: Mas se quiséssemos que a bola se movimentasse de baixo para cima na mesma superfície, achais que ela o faria?

Simplicio: Espontaneamente não, mas só se empurrada ou lançada com violência.

---

\* Adquirem forças ao progredir no movimento.

Salviati: E se fosse empurrada através de uma força [ímpeto] violenta, qual seria a qualidade e a grandeza [qual e quanto] do seu movimento?

Simplicio: O movimento iria enfraquecendo e atrasar-se-ia, porque era contra a sua natureza e duraria mais ou menos tempo conforme a grandeza do impulso dado e o maior ou menor declive da superfície.

Salviati: Até aqui parece-me que tinha explicado o comportamento dum objecto móvel sobre dois planos diferentes; no plano inclinado o objecto móvel grave desce espontaneamente acelerando e, para o colocar em repouso, tem que se utilizar uma força; mas no plano ascendente é preciso utilizar uma força para o empurrar e mesmo para o parar, e o movimento vai enfraquecendo até finalmente desaparecer. Dizeis também que nos dois casos a diferença reside no plano ser mais ou menos inclinado; uma inclinação maior dá uma maior velocidade ao descer, enquanto que, no caso contrário, do plano ascendente, o mesmo objecto empurrado num plano pela mesma força, movimentar-se-á tanto mais longe quanto menor for a inclinação do plano. Agora dízei-me, o quê aconteceria se o plano fosse plano.

173

Simplicio: Agora preciso de pensar um pouco na resposta. Se o plano não for inclinado para baixo, não pode ter uma tendência [inclinação] natural para movimentar-se e como não tem inclinação para cima não pode oferecer resistência ao movimento; portanto não haveria nem propensão nem resistência ao movimento: acho que o móvel ficaria parado. Mas eu ando tão esquecido, pois, não há muito, o senhor Sagredo deu-me a entender que assim aconteceria.

Salviati: Assim creio, desde que alguém parasse o móvel sobre o plano; mas se recebesse um impulso [ímpeto] numa qualquer direcção, que aconteceria?

Simplicio: Movimentar-se-ia nessa direcção.

Salviati: Mas com que tipo de movimento? Continuamente acelerado, como nos planos inclinados descendentes, ou sucessivamente retardado, como nos planos inclinados ascendentes?

Simplicio: Não consigo ver qual a causa para a aceleração ou retardamento, não sendo o plano nem ascendente nem descendente.

Salviati: Sim. Mas se não houvesse causa para o retardamento, ainda menos deveria haver para o repouso: então por quanto tempo, em vossa opinião, deveria durar o movimento?

Simplicio: Tanto quanto durasse o comprimento da superfície, sem subir e sem descer.

Salviati: Portanto se um tal espaço fosse infinito [interminato], o movimento seria igualmente sem fim, quer dizer perpétuo?

Simplicio: Acho que sim, se o objecto móvel fosse dum material durável.

Salviati: Tudo isto já foi admitido, ao dizer que se retiravam todos os impedimentos externos e accidentais, e a fragilidade do objecto móvel é accidental. Dizei-me agora: qual pensais ser a razão do movimento espontâneo da bola ao longo do plano inclinado descendente e do seu movimento sem violência ao longo do plano inclinado ascendente?

Simplicio: Porque a tendência [inclinação] dos corpos graves é moverem-se em direcção ao centro da Terra e só o movimento para cima é violento, em direcção à circunferência; pelo intermédio de uma superfície inclinada descendente o movimento conduz para o centro, na direcção contrária distancia-se do centro.

Salviati: Portanto, para uma superfície, cuja inclinação não fosse nem ascendente nem descendente, teria que ter todos as suas partes à mesma distância do centro. Mas há superfícies deste género no mundo?

Simplicio: Não faltam: há a do nosso globo terrestre, se fosse bem polida, sem asperezas e sem montanhas; mas temos a superfície da água, quando calma e tranqüila.

Salviati: Portanto um navio que navegue pelo mar sem vento é um desses objectos móveis que se deslocam ao longo duma superfície que não sobe nem desce e, portanto, disposta, caso sejam removidos todos os obstáculos externos e accidentais, a movimentar-se uniforme e incessantemente por acção do impulso recebido.

Simplicio: Parece que tem que ser assim.

Salviati: E a pedra que se encontra no topo do mastro, não se move ela também, levada pelo navio, ao longo da circunferência dum círculo à volta do centro? O seu movimento é indelével, uma vez que sejam suprimidos todos os impedimentos externos?

Simplicio: Até aqui, tudo bem, mas o resto?

Salviati: Podeis tirar sozinho as últimas conclusões, tal como soubesteis colocar as premissas.

Simplicio: Quereis dizer que, como última conclusão, se a pedra se movimenta com um movimento indelével, não pode abandonar o navio, mas sim segui-lo, caindo no mesmo sítio onde cairia quando o navio estivesse parado; e eu concordo, a não ser que impedimentos externos modificassem o movimento da pedra ao cair. E os impedimentos são dois: primeiro, o objecto móvel não pode romper o ar só com o seu ímpeto, faltando-lhe o da força dos remos, do qual participava como parte do navio, ao estar no topo do mastro; segundo, o novo movimento de queda deve constituir um impedimento ao outro movimento progressivo.

Salviati: Não nego que haja o impedimento do ar; e se o corpo que cai fosse muito leve, como uma pena ou um floco de lã, o atraso seria muito grande; mas quando se trata de uma pedra pesada esse atraso é muito pequeno: vós dissesteis há pouco que a força do vento, mesmo mais violento, não pode mover uma pedra grande; pensai agora no que poderia acontecer quando o ar calmo encontre a pedra e não se desloque mais rápido do que o navio. Mesmo assim, concordo que um pequeno efeito pode depender deste impedimento. E sei que vós também concordaríeis comigo que, se o ar se movesse à mesma velocidade do navio e da pedra, o efeito seria nulo. Em relação à outra questão, do movimento para baixo. De início, é claro que os dois, quer dizer o movimento circular à volta do centro e o movimento rectilíneo em direcção ao centro, não são contrários nem incompatíveis, nem se destroem um ao outro, pois, em relação ao móvel, não há repugnância alguma a este movimento composto: como vós dissesteis, só há repugnância com o movimento que afasta do centro e tendência



*[inclinazione] para o movimento que o aproxima do centro. Portanto em relação ao movimento que não aproxima nem afasta do centro o objecto não tem nem repugnância nem propensão que possa mudar o impulso que lhe foi atribuído. E ainda, não sendo a causa motora só uma, mas duas diferentes, a da gravidade que leva unicamente o objecto móvel em direcção ao centro, e a virtude impressa que leva o objecto a movimentar-se em torno do centro, não resta assim impedimento algum.*